

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**



**Avaliação do Impacto da Microgeração em Redes  
de Distribuição de Energia**

Rui Francisco Gomes Duarte Mangas

Dissertação realizada no âmbito do  
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores  
Major Energia

Orientador: Prof. Dr. José Nuno M. M. Fidalgo

2009



A Dissertação intitulada

“Redes de distribuição de energia com microgeração – Avaliação do impacto de diferentes condições de licenciamento”

foi aprovada em provas realizadas em 21/Julho/2009

o júri

Presidente Professor Doutor Manuel António Cerqueira da Costa Matos  
Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Electrotécnica e  
de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge  
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de  
Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade  
de Coimbra

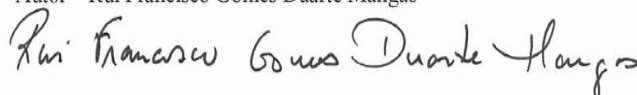


Professor Doutor José Nuno Moura Marques Fidalgo  
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de  
Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto da  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projecto) é da  
sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não  
explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros  
extractos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e  
demais referências bibliográficas usadas, são correctamente citados.

Autor – Rui Francisco Gomes Duarte Mangas



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

O TÍTULO DEFINITIVO SERÁ:

" AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA MICROGERAÇÃO EM REDES  
DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA "

Prof. Aluísio Gomes de Castro

Yuri Nuno M. F. Filho

# Resumo

Nesta dissertação foram analisados os efeitos da microgeração em redes de distribuição de energia de forma a avaliar o seu impacto em diferentes condições de exploração. O principal objectivo consistiu em analisar estes impactos em função do índice de penetração da microgeração.

Nesse âmbito simularam-se diferentes redes de distribuição sob diferentes condições de carga, penetração, localização e dispersão da microgeração, de modo a analisar o impacto da Microgeração nos índices de qualidade das redes (perdas, tensão e percentagem de carga dos ramos), a determinar a localização óptima da Microgeração e a determinar influência que uma maior ou menor dispersão da Microgeração pode ter sobre os índices de qualidade das redes.



# Abstract

*On this thesis where analyzed the effects that microgeneration has in energy distribution networks in order to evaluate what a kind of impact these effects have on the distribution networks when they are under different conditions of exploration. The main objective was to examine these impacts in function of the microgeneration level of penetration.*

*In this context different energy distribution networks were simulated under different conditions of load, penetration, microgeneration location and dispersion in order to analyze the impact of Microgeneration in voltage profiles, power losses and branches congestion, to determine the optimal location of Microgeneration and to determine how a higher or lower dispersion of Microgeneration can influence the networks quality indices.*





# Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de endereçar um agradecimento muito especial aos meus pais, por todo o apoio, compreensão, paciência e incentivo que me deram ao longo da minha vida, sem eles nada teria sido possível.

Gostaria também de agradecer à minha família mais chegada (irmãos, primos, tios e avós) assim como aos restantes elementos da família, todo o amor e amizade que sempre me dão.

Gostaria também de endereçar um agradecimento muito especial à minha namorada Diana por todo o apoio, amor e amizade com que me brindou nesta fase especial da minha vida.

Gostaria também de agradecer a todos os meus colegas e amigos sem excepção a amizade, companheirismo e apoio dado sempre que necessário.

Por último, mas não menos importante, gostaria de endereçar um agradecimento muito especial ao meu orientador o Professor Doutor Nuno Fidalgo pelo apoio, disponibilidade e ensinamentos que me deu sempre que necessitei.



# Índice

Resumo .....	iii
Abstract.....	vii
Agradecimentos .....	ix
Índice.....	xi
Lista de figuras .....	xiii
Lista de tabelas .....	xix
Abreviaturas e Símbolos .....	xx
<b>Capítulo 1 .....</b>	<b>1</b>
Nota Introdutória .....	1
1.1 - Enquadramento do Estudo .....	1
1.2 - Estrutura da Dissertação.....	3
1.3 - <i>Software</i> utilizado .....	3
<b>Capítulo 2 .....</b>	<b>5</b>
Energias Renováveis .....	5
2.1 - Introdução.....	5
2.2 - Energias Renováveis: a chave para um desenvolvimento sustentável.....	5
2.3 - Uso das Energias Renováveis em Portugal .....	7
2.4 - Uso das Energias Renováveis no resto do Mundo .....	12
2.5 - Incentivos em Portugal ao uso de Energias Renováveis .....	18
<b>Capítulo 3 .....</b>	<b>21</b>
Microgeração .....	21
3.1 - Introdução.....	21
3.2 - Definição e enquadramento no Sistema Eléctrico Nacional.....	22
3.3 - Legislação Vigente .....	24
3.3.1- Produção de energia eléctrica baseada em Recursos Renováveis.....	24
3.3.2- Produção de energia eléctrica em Baixa Tensão .....	25
<b>Capítulo 4 .....</b>	<b>31</b>
Efeitos da Microgeração em redes de distribuição.....	31
4.1 - Introdução.....	31

4.2 - Caracterização Geral das Redes Simuladas .....	32
4.3 - Análise Geral dos Efeitos da Microgeração .....	33
4.4 - Descrição do Algoritmo e Cenários Simulados .....	34
4.5 - Resultados das simulações efectuadas.....	36
4.5.1 - Perfis de Tensão .....	36
4.5.2 - Impacto nas Perdas.....	42
4.5.2.1 - Perdas Activas .....	42
4.5.2.2 - Perdas Reactivas .....	45
4.5.3 - Impacto no Carregamento dos Ramos.....	47
4.6 - Efeitos da Localização da Microgeração .....	54
4.6.1- Algoritmo.....	56
4.6.2- Resultados .....	56
4.6.2.1 - Perdas Activas .....	56
4.6.2.2 - Perdas Reactivas .....	62
4.6.3- Perfis de Tensão .....	67
4.6.4- Percentagem de Carga nos Ramos.....	69
4.7 - Efeitos da Dispersão da Microgeração.....	71
4.7.1- Algoritmo.....	72
4.7.2- Resultados .....	72
4.7.2.1 - Perdas Activas .....	73
4.7.2.2 - Perdas Reactivas .....	75
4.7.3- Perfis de Tensão .....	76
4.7.4- Percentagem de Carga nos Ramos.....	80
4.8 - Análise de algumas condições de Licenciamento .....	82
<b>Capítulo 5 .....</b>	<b>87</b>
Conclusões .....	87
<b>Referências .....</b>	<b>89</b>
<b>Anexo I - Decreto-Lei nº 363/2007.....</b>	<b>93</b>
<b>Anexo II - Efeitos da Localização da Microgeração .....</b>	<b>108</b>

# Lista de figuras

<b>Figura 2.1</b> - Evolução do consumo de Energia Primária em Portugal, no período compreendido entre 1996 e 2007 .....	8
<b>Figura 2.2</b> - Evolução da energia produzida a partir de fontes renováveis. ....	9
<b>Figura 2.3</b> - Produção mensal de energia eléctrica a partir de fontes de energia renováveis (GWh) em Portugal Continental .....	10
<b>Figura 2.4</b> - Produção de energia eléctrica a partir de fontes renováveis por distrito em 2008 (GWh) em Portugal Continental .....	11
<b>Figura 2.5</b> - Evolução da potência licenciada. ....	12
<b>Figura 2.6</b> - Comparação das quantidades de electricidade gerada a partir de FER nos Estados Membros da UE-27 nos anos de 1997 e 2006 .....	13
<b>Figura 2.7</b> - Progressos e evolução nas quotas de electricidade renovável dos Estados-Membros em 2004-2006 .....	15
<b>Figura 2.8</b> - Repartição das tecnologias usadas por cada Estado-Membro em 2006 .....	15
<b>Figura 2.9</b> - Compromisso de Quioto para os Países da UE-15 .....	16
<b>Figura 2.10</b> - Emissões reais e projectadas para a UE-15 .....	17
<b>Figura 3.1</b> - Organização do SEN .....	22
<b>Figura 4.1</b> - Rede MT Semi-Urbana - Variação da tensão média em função da microgeração - microgeradores produzir homogeneamente .....	37
<b>Figura 4.2</b> - Rede MT Semi-Urbana - Variação da tensão média em função da microgeração - microgeradores produzir variavelmente.....	37
<b>Figura 4.3</b> - Rede MT Semi-Urbana - Variação da tensão no barramento nº 2025 em função da microgeração - microgeradores produzir homogeneamente.....	38
<b>Figura 4.4</b> - Rede MT Semi-Urbana - Variação da tensão no barramento nº 78 em função da microgeração - microgeradores produzir homogeneamente.....	38
<b>Figura 4.5</b> - Rede MT Semi-Urbana - Variação da tensão no barramento nº 2025 em função da microgeração - microgeradores produzir variavelmente. ....	38

<b>Figura 4.6</b> - Rede MT Semi-Urbana - Variação da tensão no barramento nº 78 em função da microgeração - microgeradores produzir variavelmente. ....	39
<b>Figura 4.7</b> - Rede MT Urbana - Variação da tensão média em função da microgeração - Cenário com microgeração em 12 barramentos .....	39
<b>Figura 4.8</b> - Rede MT Urbana - Variação da tensão média em função da microgeração - Cenário com microgeração em 25 barramentos .....	39
<b>Figura 4.9</b> - Rede MT Urbana - Variação da tensão no barramento nº 671 em função da microgeração - Cenário com microgeração em 12 barramentos.....	40
<b>Figura 4.10</b> - Rede MT Urbana - Variação da tensão no barramento nº 671 em função da microgeração - Cenário com microgeração em 25 barramentos.....	40
<b>Figura 4.11</b> - Rede MT Urbana - Variação da tensão no barramento nº 598 em função da microgeração - Cenário com microgeração em 12 barramentos.....	41
<b>Figura 4.12</b> - Rede MT Urbana - Variação da tensão no barramento nº 598 em função da microgeração - Cenário com microgeração em 25 barramentos.....	41
<b>Figura 4.13</b> - Rede MT Semi-Urbana - Variação das Perdas Activas em função da microgeração - microgeradores produzir homogeneamente. ....	42
<b>Figura 4.14</b> - Rede MT Semi-Urbana - Variação das Perdas Activas em função da microgeração - microgeradores produzir variavelmente.....	43
<b>Figura 4.15</b> - Rede MT Urbana - Variação das Perdas Activas em função da microgeração - Cenário com microgeração em 12 barramentos .....	44
<b>Figura 4.16</b> - Rede MT Urbana - Variação das Perdas Activas em função da GD - Cenário com microgeração em 25 barramentos .....	44
<b>Figura 4.17</b> - Rede MT Semi-Urbana - Variação das Perdas Reactivas em função da microgeração - microgeradores produzir homogeneamente. ....	45
<b>Figura 4.18</b> - Rede MT Semi-Urbana - Variação das Perdas Reactivas em função da microgeração - microgeradores produzir variavelmente.....	46
<b>Figura 4.19</b> - Rede MT Urbana - Variação das Perdas Reactivas em função da microgeração - Cenário com microgeração em 12 barramentos.....	46
<b>Figura 4.20</b> - Rede MT Urbana - Variação das Perdas Reactivas em função da microgeração - Cenário de microgeração em 25 barramentos.....	47
<b>Figura 4.21</b> - Rede MT Semi-Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (12-89) em função da microgeração - microgeradores produzir homogeneamente. ....	48
<b>Figura 4.22</b> - Rede MT Semi-Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (12-89) em função da microgeração - microgeradores produzir variavelmente. ....	48
<b>Figura 4.23</b> - Rede MT Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (435-283) em função da microgeração - Cenário com microgeração em 12 barramentos.....	49
<b>Figura 4.24</b> - Rede MT Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (435-283) em função da microgeração - Cenário com microgeração em 25 barramentos.....	49
<b>Figura 4.25</b> - Rede MT Semi-Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (4-194) em função da microgeração - microgeradores produzir homogeneamente. ....	49

<b>Figura 4.26</b> - Rede MT Semi-Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (4-194) em função da microgeração - microgeradores produzir variavelmente. ....	50
<b>Figura 4.27</b> - Rede MT Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (8-10) em função da microgeração - Cenário com microgeração em 12 barramentos.....	50
<b>Figura 4.28</b> - Rede MT Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (8-10) em função da microgeração - Cenário com microgeração em 25 barramentos.....	50
<b>Figura 4.29</b> - Rede MT Semi-Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (2085-133) em função da microgeração - microgeradores produzir homogeneamente. ....	51
<b>Figura 4.30</b> - Rede MT Semi-Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (2085-133) em função da microgeração - microgeradores produzir variavelmente. ....	51
<b>Figura 4.31</b> - Rede MT Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (598-779) em função da microgeração - Cenário com microgeração em 12 barramentos.....	52
<b>Figura 4.32</b> - Rede MT Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (598-779) em função da microgeração - Cenário com microgeração em 25 barramentos.....	52
<b>Figura 4.33</b> - Rede MT Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (778-329) em função da microgeração - Cenário com microgeração em 12 barramentos.....	53
<b>Figura 4.34</b> - Rede MT Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (778-329) em função da microgeração - Cenário com microgeração em 25 barramentos.....	53
<b>Figura 4.35</b> - Rede MT Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (508-329) em função da microgeração - Cenário com microgeração em 12 barramentos.....	53
<b>Figura 4.36</b> - Rede MT Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (508-329) em função da microgeração - Cenário com microgeração em 25 barramentos.....	54
<b>Figura 4.37</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - cenário C140 - nos diferentes estudos simulados. ....	57
<b>Figura 4.38</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - cenário C100 - nos diferentes estudos simulados. ....	57
<b>Figura 4.39</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - cenário C90 - nos diferentes estudos simulados. ....	57
<b>Figura 4.40</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - cenário C80 - nos diferentes estudos simulados. ....	58
<b>Figura 4.41</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - cenário C50 - nos diferentes estudos simulados. ....	58
<b>Figura 4.42</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - cenário C30 - nos diferentes estudos simulados. ....	58
<b>Figura 4.43</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - cenário C20 - nos diferentes estudos simulados. ....	59
<b>Figura 4.44</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - cenário C140 - nos diferentes estudos simulados. ....	59
<b>Figura 4.45</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - cenário C100 - nos diferentes estudos simulados. ....	59

<b>Figura 4.46</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - cenário C90 - nos diferentes estudos simulados. ....	60
<b>Figura 4.47</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - cenário C80 - nos diferentes estudos simulados. ....	60
<b>Figura 4.48</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - cenário C50 - nos diferentes estudos simulados. ....	60
<b>Figura 4.49</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - cenário C30 - nos diferentes estudos simulados. ....	61
<b>Figura 4.50</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - cenário C20 - nos diferentes estudos simulados. ....	61
<b>Figura 4.51</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C140 e cenário 12 $\mu$ G - nos diferentes estudos simulados. ....	63
<b>Figura 4.52</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C100 e cenário 12 $\mu$ G - nos diferentes estudos simulados. ....	63
<b>Figura 4.53</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C90 e cenário 12 $\mu$ G - nos diferentes estudos simulados. ....	63
<b>Figura 4.54</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C80 e cenário 12 $\mu$ G - nos diferentes estudos simulados. ....	64
<b>Figura 4.55</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C50 e cenário 12 $\mu$ G - nos diferentes estudos simulados. ....	64
<b>Figura 4.56</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C30 e cenário 12 $\mu$ G - nos diferentes estudos simulados. ....	64
<b>Figura 4.57</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C20 e cenário 12 $\mu$ G - nos diferentes estudos simulados. ....	65
<b>Figura 4.58</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C140 e cenário 25 $\mu$ G - nos diferentes estudos simulados. ....	65
<b>Figura 4.59</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C100 e cenário 25 $\mu$ G - nos diferentes estudos simulados. ....	65
<b>Figura 4.60</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C90 e cenário 25 $\mu$ G - nos diferentes estudos simulados. ....	66
<b>Figura 4.61</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C80 e cenário 25 $\mu$ G - nos diferentes estudos simulados. ....	66
<b>Figura 4.62</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C50 e cenário 25 $\mu$ G - nos diferentes estudos simulados. ....	66
<b>Figura 4.63</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C30 e cenário 25 $\mu$ G - nos diferentes estudos simulados. ....	67
<b>Figura 4.64</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C20 e cenário 25 $\mu$ G - nos diferentes estudos simulados. ....	67
<b>Figura 4.65</b> - Rede MT Urbana - Comparação dos perfis de Tensão - cenário C100 e cenário 12 $\mu$ G - nos diferentes estudos simulados. ....	68



<b>Figura 4.66</b> - Rede MT Urbana - Comparação dos perfis de Tensão - cenário C100 e cenário 25μG - nos diferentes estudos simulados. ....	68
<b>Figura 4.67</b> - Rede MT Urbana - Percentagem de Carga no Ramo (598-779) - cenários C100 e 25μG - nos diferentes estudos simulados. ....	70
<b>Figura 4.68</b> - Rede MT Urbana - Percentagem de Carga no Ramo (8-10) - cenários C100 e 25 μG - nos diferentes estudos simulados.....	70
<b>Figura 4.69</b> - Rede MT Urbana - Percentagem de Carga no Ramo (778-329) - cenários C100 e 25μG - nos diferentes estudos simulados. ....	71
<b>Figura 4.70</b> - Rede MT Urbana - Percentagem de Carga no Ramo (435-283) - cenário C100 e 25μG - nos diferentes estudos simulados. ....	71
<b>Figura 4.71</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - Cenários C100 e Junto Cargas .....	73
<b>Figura 4.72</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - Cenários C100 e Junto Injecção .....	74
<b>Figura 4.73</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - Cenários C100 e Disp. Aleatória 1 .....	74
<b>Figura 4.74</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - Cenários C100 e Disp. Aleatória 2.....	74
<b>Figura 4.75</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - Cenários C100 e Junto Cargas .....	75
<b>Figura 4.76</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - Cenários C100 e Junto Injecção .....	75
<b>Figura 4.77</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - Cenários C100 e Disp. Aleatória 1 .....	76
<b>Figura 4.78</b> - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - Cenários C100 e Disp. Aleatória 2.....	76
<b>Figura 4.79</b> - Rede MT Urbana - Comparação da Tensão Média dos Barramentos - Cenários C140 e Junto Cargas .....	77
<b>Figura 4.80</b> - Rede MT Urbana - Comparação da Tensão Média dos Barramentos - Cenários C100 e Junto Cargas .....	77
<b>Figura 4.81</b> - Rede MT Urbana - Comparação da Tensão Média dos Barramentos - Cenários C50 e Junto Cargas.....	77
<b>Figura 4.82</b> - Rede MT Urbana - Comparação da Tensão Média dos Barramentos - Cenários C20 e Junto Cargas.....	78
<b>Figura 4.83</b> - Rede MT Urbana - Comparação da Tensão no Barramento nº671 - Cenários C140 e Junto Cargas .....	78
<b>Figura 4.84</b> - Rede MT Urbana - Comparação da Tensão no Barramento nº671 - Cenários C100 e Junto Cargas .....	79
<b>Figura 4.85</b> - Rede MT Urbana - Comparação da Tensão no Barramento nº671 - Cenários C50 e Junto Cargas.....	79

<b>Figura 4.86</b> - Rede MT Urbana - Comparação da Tensão no Barramento nº671 - Cenários C20 e Junto Cargas .....	79
<b>Figura 4.87</b> - Rede MT Urbana - Comparação da Percentagem de Carga no Ramo 598-779 - cenários C100 e Junto Cargas.....	80
<b>Figura 4.88</b> - Rede MT Urbana - Comparação da Percentagem de Carga no Ramo 8-10 - cenários C100 e Junto Cargas.....	80
<b>Figura 4.89</b> -Comparação da Percentagem de Carga no Ramo 778-329 - cenários C100 e Junto Cargas .....	81
<b>Figura 4.90</b> - Comparação da Percentagem de Carga no Ramo 435-283 - cenário C100 e Junto Cargas .....	81
<b>Figura 4.91</b> - Comparação da Percentagem de Carga no Ramo 508-329 - cenário C100 e Junto Cargas .....	81
<b>Figura A.1</b> - Comparação das Perdas Activas - cenário C100.....	108
<b>Figura A.2</b> - Comparação das Perdas Activas - cenário C90 .....	108
<b>Figura A.3</b> - Comparação das Perdas Activas - cenário C100.....	109
<b>Figura A.4</b> - Comparação das Perdas Activas - cenário C90 .....	109
<b>Figura A.5</b> - Comparação das Perdas Activas - cenário C140.....	109
<b>Figura A.6</b> - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C100.....	110
<b>Figura A.7</b> - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C90 .....	110
<b>Figura A.8</b> - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C50 .....	110
<b>Figura A.9</b> - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C20 .....	110
<b>Figura A.10</b> - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C140 .....	111
<b>Figura A.11</b> - Comparação dos Perfis de Tensão- cenário C100 .....	111
<b>Figura A.12</b> - Comparação dos Perfis de Tensão- cenário C100 .....	111
<b>Figura A.13</b> - Comparação das Cargas nos Ramo (4-194)-cenário C100 .....	112
<b>Figura A.14</b> - Comparação das Cargas nos Ramo (2085-133)-cenário C100.....	112
<b>Figura A.15</b> - Comparação das Cargas nos Ramo (12-89)-cenário C100 .....	112

## Lista de tabelas

Tabela 4.1 – Descrição de todos os cenários de exploração simulados.....	34
Tabela 4.2 – Barramentos das Redes MT onde foi simulada a existência de microgeração....	35
Tabela 4.3 – Ramos analisados para cada uma das redes simuladas.....	48
Tabela 4.4 – Ramos analisados no estudo .....	69
Tabela 4.5 – Características das redes MT Semi-Urbana e MT Urbana .....	83
Tabela 4.6 – Resultados obtidos para as diversas hipóteses de estudo consideradas.....	83
Tabela 4.7 – Relação entre percentagem de penetração e número de microgeradores em cada uma das redes.....	84

# Abreviaturas e Símbolos

## Lista de abreviaturas

APREN	Associação Portuguesa das Energias Renováveis
BT	Baixa Tensão
CMMAD	Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
DGEG	Direcção Geral de Energia e Geologia
DL	Decreto-Lei
EC	<i>European Community</i>
FER	Fontes de Energia Renováveis
GEE	Gases com Efeito de Estufa
GPL	Gases de Petróleo Liquefeito
INTELI	Inteligência em Inovação
IPCC	<i>International Panel on Climatic Changes</i>
ISP	Imposto sobre Petrolíferos
IVA	Imposto sobre Valor Acrescentado
INESC	Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores
MAPE	Medida de Apoio ao Aproveitamento do Potencial Energético e Racionalização de Consumos
MT	Média Tensão
OGE	Orçamento Geral de Estado
ONU	Organização das Nações Unidas
PRIME	Programa de Incentivos à Modernização da Economia
REN	Rede Eléctrica Nacional
RESP	Rede Eléctrica de Serviço Público
SEI	Serviço Eléctrico Independente
SEN	Serviço Eléctrico Nacional
SEP	Sistema Eléctrico de Serviço Público

SRM	Sistema de Registo da Microprodução
UE	União Europeia
UNFCC	<i>United Nations Framework on Climatic Changes</i>

#### Lista de símbolos

$\Phi$	Ângulo
--------	--------



# Capítulo 1

## Nota Introdutória

### 1.1 - Enquadramento do Estudo

O contínuo aumento da população mundial, especialmente nos países em desenvolvimento, aumenta exponencialmente as exigências ao nível de energia e matérias-primas. Estes bens representam as necessidades fundamentais para garantir o desenvolvimento humano sustentável.

A limitação existente de recursos torna urgente a adopção de estratégias adequadas nas matérias-primas e energia, a fim de evitar um cenário de emergência económico e social que, na ausência de estratégias adequadas, chegará mais cedo ou mais tarde.

O preenchimento das necessidades humanas básicas - alimentação, saúde e qualidade ambiental aceitável - exige cada vez maiores quantidades de energia.

Existem muitas propostas de soluções sustentáveis no sector da energia, mas, até agora, apenas algumas são competitivas com a utilização de hidrocarbonetos fósseis. Estes, além de serem a nossa principal fonte de energia, são também importantes elementos de base para a síntese de muitos dos produtos químicos que usamos diariamente. Assim, o fim do petróleo, para além de contribuir para uma crise energética, irá também afectar a disponibilidade dos produtos para que satisfazem as nossas necessidades elementares. Neste sentido a utilização em grande escala de recursos renováveis torna-se cada vez mais urgente. No entanto a redução dos níveis de combustíveis fósseis não é a única razão pela qual devemos começar a utilizar cada vez mais as energias renováveis. As alterações climáticas são vistas como sendo uma das mais sérias ameaças ambientais a nível global, com forte impacto nos ecossistemas, qualidade da água, saúde humana e nas actividades económicas [1].

De acordo com o 4º Relatório de Avaliação emitido pelo *International Panel on Climatic Changes* (IPCC) [2], o planeta está a aquecer rapidamente sendo o principal responsável para este aumento do calor a quantidade massiva de Gases com Efeito Estufa (GEE) provenientes da combustão de combustíveis fósseis e de outros processos industriais e agrícolas. A presença desta quantidade massiva de GEE é o principal responsável pela intensificação do efeito estufa e pelo aumento do calor aprisionado na atmosfera. Este calor adicional tem uma

influência determinante sobre o funcionamento do clima do planeta, já que essa energia é a responsável pela circulação dos ventos e dos oceanos, pela evaporação e pela precipitação.

Dentre as consequências desta presença massiva de GEE destacam-se o aumento da temperatura média do planeta (entre 1,4 e 5,8°C) [3], o derretimento dos glaciares e a consequente elevação do nível dos oceanos podendo levar a que as zonas costeiras fiquem submersas, a perda de biodiversidade, aumento da incidência de doenças transmissíveis por mosquitos e outros insectos (malária, febre amarela, dengue e esquistossomose por exemplo), a mudanças no regime de chuvas, a intensificação de fenómenos extremos (tais como secas, inundações, furacões e tempestades tropicais), desertificação, perda de áreas agriculturáveis, agravamento dos problemas relacionados com abastecimento de água doce, aumento de fluxos migratórios, entre outras [4].

O desenvolvimento de esforços no sentido de conservar e preservar o planeta torna-se como tal numa questão prioritária. Lidar com as mudanças climáticas exige um esforço global, sendo o protocolo de Quioto um ponto de partida para criar, no futuro, medidas estruturais que permitam limitar o aquecimento global do planeta.

Tendo em conta as metas propostas neste protocolo e a especificidade de cada país, a União Europeia (UE) emitiu em Setembro de 2001 a Directiva 077/CE/2001 [5] relativa à produção de electricidade a partir de origem renovável onde é fixada uma meta global para a União Europeia de que, em 2010, 22% da electricidade consumida deveria ser gerada a partir de origem renovável. Para Portugal esse valor foi fixado em 39%.

Posteriormente, a 26 de Março de 2009 a União Europeia decidiu emitir a Directiva 2009/28/CE [6] que emenda e revoga as directivas “Directiva 2001/77/EC e 2003/30/EC” e onde define uma meta de 20% para a quota global de energia proveniente de fontes renováveis e uma meta de 10% para energia proveniente de fontes renováveis nos transportes seriam adequadas e objectivos realizáveis.

Compete assim a cada um dos países comprometidos o desenvolver esforços para aumentar os níveis de produção de energia de origem renovável que permitam cumprir o protocolo de Quioto e as Directivas ratificadas.

Em Portugal, a produção de energia eléctrica a partir de Fontes de Energia Renovável (FER), é dominada pela componente hídrica (59% da potência instalada em 2008) sendo responsáveis pela restante produção outras fontes de origem renovável, como por exemplo a energia eólica, energia solar, biomassa, energia das ondas, biocombustíveis e biogás. Uma outra alternativa para produzir energia eléctrica a partir de FER é a Microgeração [7].

De facto, a integração da Microgeração nas redes eléctricas é um fenómeno cada vez mais generalizado em todos os países do mundo surgindo também como medida de redução das emissões de CO<sub>2</sub> através do aumento da produção baseada em energias renováveis.

Com esta dissertação pretende-se simular os efeitos das unidades de Microgeração em redes de distribuição e avaliar o impacto de diferentes condições de licenciamento.

Não é objectivo desta dissertação avaliar as condições de licenciamento em si, uma vez que para tal teria de ser desenvolvido um estudo de uma outra natureza, mas sim avaliar limites técnicos associados à microgeração que possam servir de base para futuras alterações nas condições de licenciamento.



## 1.2 - Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada da seguinte forma:

No **capítulo 2** é abordada a necessidade das energias renováveis, fazendo referência à situação de Portugal face às energias renováveis, nomeadamente alguns incentivos, e também refere de uma forma generalizada dados relativos ao resto do mundo em relação às energias renováveis.

No **capítulo 3** define-se e enquadra-se Microgeração no Sistema Eléctrico Nacional (SEN) e é apresentada a legislação actualmente em vigor.

No **capítulo 4** inicialmente analisam-se os efeitos da Microgeração nas redes de distribuição de uma forma generalizada. Posteriormente simulam-se diferentes localizações e dispersões da Microgeração de forma a determinar a localização óptima onde a Microgeração deverá ser alocada e o impacto que a dispersão da microgeração pode ter nos índices de qualidade de uma rede de distribuição de energia.

Por fim neste capítulo é feita uma pequena análise a algumas condições de licenciamento no sentido de verificar de que forma estas se apresentam como um obstáculo, ou não, ao aumento da microgeração nas redes de distribuição.

No **capítulo 5** estão expostas as conclusões retiradas do trabalho e são referidas algumas indicações sobre o trabalho futuro que poderá vir a ser desenvolvido.

## 1.3 - *Software* utilizado

No decorrer desta dissertação foram utilizados os seguintes softwares: *Power World Simulator 8.0*, *Microsoft Office Excell* e *Microsoft Office Word*.

O programa *Power World Simulator 8.0* foi utilizado para efeito de simulação. Foi recorrendo a este programa que simularam as redes de distribuição sob as mais diversas condições de carga, penetração, localização e dispersão da microgeração. As diferentes condições simuladas foram executadas de forma automática recorrendo ao uso de *scripts*.

O programa *Microsoft Office Excel* foi utilizado para efeitos de cálculo e para a criação dos diversos cenários simulados no *Power Worl Simulator 8.0*.

Quanto ao programa *Microsoft Office Word*, este foi usado para efeitos de redacção e escrita.



# Capítulo 2

## Energias Renováveis

### 2.1 - Introdução

Nos dias de hoje é cada vez mais usual ouvir-se falar dos possíveis cenários catastróficos que o planeta poderá sofrer se não forem reforçadas as medidas no sentido de conservar e preservar o planeta onde vivemos, bem como por exemplo da vulnerabilidade do sistema energético às flutuações dos preços internacionais, nomeadamente do preço dos combustíveis fósseis, como resultado da elevada dependência do mundo por estes. Assim cada vez mais exigem-se esforços no sentido de aumentar a diversificação. Inclusivamente, muitos de nós já começam a agir de forma a minimizar os efeitos supracitados mas, muito mais poderá ser feito. O Protocolo de Quioto bem como as Directivas 2001/77/EC e 2003/30/EC são vistos como referências no incentivo ao uso das Energias Renováveis.

Nesse sentido, este capítulo pretende abordar a importância das energias renováveis no âmbito de um desenvolvimento sustentado, alguns números referentes às energias renováveis em Portugal e no resto do mundo e ainda alguns incentivos para o uso de energias renováveis.

### 2.2 - Energias Renováveis: a chave para um desenvolvimento sustentável

O desenvolvimento sustentável pode ser amplamente definido como viver, produzir e consumir atendendo às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades. Este está a tornar-se um princípio fundamental para a política no século XXI. Em todo o mundo, políticos, industriais, ecologistas, economistas e teólogos afirmam que o princípio deve ser aplicado a nível internacional, nacional e local. No contexto internacional, a palavra

"desenvolvimento" refere-se à melhoria na qualidade de vida, e, sobretudo, do nível de vida dos países menos desenvolvidos mundo. O objectivo do desenvolvimento sustentável é atingir esta melhoria, mantendo os processos ecológicos dos quais a vida depende. O conceito de *desenvolvimento sustentável* tornou-se amplamente aceite na sequência do relatório seminal da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), criada pela Organização das Nações Unidas (ONU) porque os desníveis do desenvolvimento económico e o crescimento da população estavam, e ainda estão, a colocar pressões sem precedentes sobre as terras, águas e outros recursos naturais do nosso planeta, as quais eram graves o suficiente para ameaçar a própria sobrevivência de algumas populações regionais e, a longo prazo, conduzir a catástrofes globais. Mudanças no estilo de vida, especialmente em matéria de produção e consumo, acabarão por ser forçadas nas populações devido a pressões ecológicas e económicas. No entanto, o efeito económico e social destas mudanças pode ser atenuado através de previsões, planeamentos e políticas [8].

Os recursos energéticos exemplificam muito bem estas questões. Um fornecimento fiável de energia é essencial em todas as economias para a iluminação, aquecimento, comunicações, computadores, equipamento industrial, transportes, etc. Nas economias desenvolvidas as compras de energia representam 5-10% do produto nacional bruto, no entanto, em alguns países em desenvolvimento, as importações de energia podem custar mais de metade do valor total das exportações tornando-se estas economias em economias insustentáveis apresentando-se assim como um desafio económico para o desenvolvimento sustentável [8].

Ao longo do século XX, o consumo mundial de energia aumentou mais de dez vezes tendo esta energia origem, predominantemente, em combustíveis fósseis (ou seja, carvão, petróleo e gás) e em electricidade gerada a partir da energia nuclear. No entanto o aumento do consumo não se vai ficar por aqui. No século XXI, novos aumentos no consumo podem ser esperados devido à industrialização, ao aumento da procura nos países menos desenvolvidos e também há ainda grande ineficiência energética existente em todos os países. Seja qual for a fonte de energia, existe uma necessidade imperiosa de ser eficientes na geração e uso de energia. Como se sabe, os combustíveis fósseis não se renovam a um ritmo significativo e como tal as actuais reservas são finitas. Sendo o tempo de vida da reserva de um recurso definido como o presente montante existente dividido pela taxa de uso do recurso, estima-se que o tempo de vida de recursos como petróleo e gás seja de apenas mais algumas décadas, sendo que para o carvão é de apenas mais alguns séculos. Em termos económicos, sabe-se que à medida que o tempo de duração das reservas de um combustível diminui, o preço deste aumenta reduzindo a procura deste mesmo combustível. Assim este combustível poderá ter um tempo de duração maior do que o previsto. No entanto, o facto base geológico permanece: as reservas de combustíveis fósseis são limitadas e, portanto, os padrões actuais de consumo de energia e crescimento não são sustentáveis a longo prazo [8].

Além disto, a limitação das emissões de gases provenientes do uso de combustíveis fósseis adquire cada vez maior importância, não só por razões económicas, mas sobretudo porque estes estão associados a efeitos nefastos para o sistema ecológico.

Tendo em conta a natureza finita dos combustíveis fósseis, o prejuízo das emissões e a sustentabilidade ecológica, conclui-se que é cada vez mais essencial expandir as energias renováveis e utilizar a energia mais eficientemente. Estas conclusões são também apoiadas economicamente, se os custos de obtenção de ambos os combustíveis e o preço a pagar pelos danos das emissões forem internalizados no preço [8]. Estas análises fundamentais permitem concluir que energias renováveis e utilização racional da energia são mais baratos para a sociedade do que o uso tradicional de combustíveis fósseis e nucleares. Os efeitos ambientais nocivos da queima de combustíveis fósseis indicam que os actuais padrões de consumo são insustentáveis a longo prazo. Em particular, as emissões de GEE provenientes da combustão de combustíveis fósseis aumentaram de forma significativa a concentração de GEE na atmosfera. O saldo do parecer científico é que, se isto continuar, o efeito de estufa aumentará levando a significativas alterações climáticas dentro de um século, ou até menos, o que poderá ter grande impacto negativo na produção de alimentos, no abastecimento de água e humanos, por exemplo, através de inundações e ciclones [5].

Reconhecendo que esta é um problema global, que nenhum país pode evitar por si mesmo, mais de 150 governos nacionais assinaram o *United Nations Framework on Climatic Changes* (UNFCC), que criou um quadro para uma acção concertada sobre a questão [8].

Infelizmente, a tomada de acções concretas é ainda bastante lenta, devido de certa forma à relutância dos governos nos países industrializados em perturbar a vida dos seus eleitores. Contudo, potenciais alterações climáticas, e questões relacionadas com a sustentabilidade, são agora os principais condutores da política energética. Em suma, as energias renováveis são muito mais compatíveis com o desenvolvimento sustentável do que os combustíveis fósseis e nucleares, no que se refere tanto limitações dos recursos e impactos ambientais.

## 2.3 - Uso das Energias Renováveis em Portugal

Portugal é um país com escassos recursos energéticos próprios, nomeadamente, aqueles que asseguram a generalidade das necessidades energéticas da maioria dos países desenvolvidos (como o petróleo, o carvão e o gás). Esta escassez de recursos conduz Portugal a uma elevada dependência energética do exterior (82,9% em 2007), sendo totalmente dependente das importações de fontes primárias de origem fóssil, e com uma contribuição das energias hídrica (fortemente dependente das condições climáticas), eólica, solar e geotérmica, biogás e de lenhas e resíduos, que importa aumentar [9].

Portugal está portanto perante uma reduzida diversificação da oferta energética primária que, aliada à escassez de recursos próprios, conduz a uma maior vulnerabilidade do sistema energético às flutuações dos preços internacionais, nomeadamente do preço do petróleo, exigindo assim esforços no sentido de aumentar a diversificação.

Importa assim aumentar a contribuição das energias renováveis: hídrica, eólica, solar, geotérmica, biogás e lenhas e resíduos.

A Figura 2.1 mostra a evolução do consumo de Energia Primária em Portugal, no período compreendido entre 1996 e 2007 inclusive.

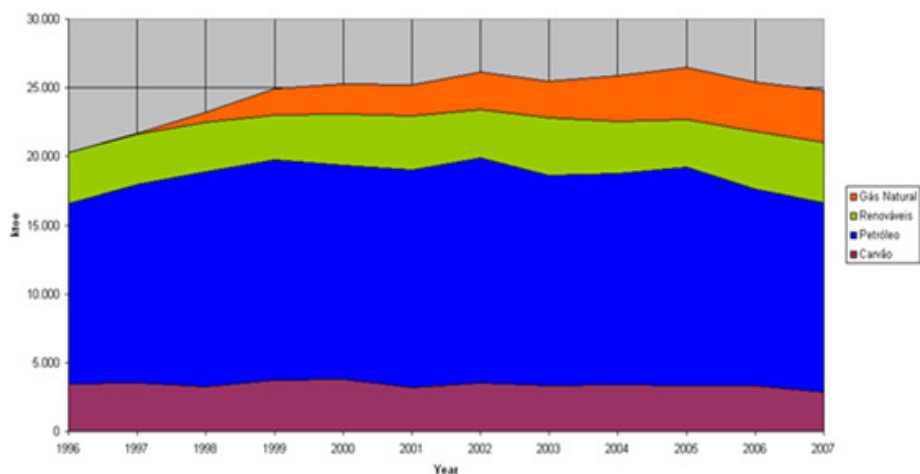


Figura 2.1 - Evolução do consumo de Energia Primária em Portugal, no período compreendido entre 1996 e 2007 [9]

O petróleo mantém, ainda, um papel essencial na estrutura de abastecimento, representando 54,0% do consumo total de energia primária em 2007. O gás natural que nos últimos anos tem contribuído positivamente para diversificar a estrutura da oferta de energia e reduzir a dependência exterior em relação ao petróleo apresenta uma evolução positiva representando em 2007 um valor de 15,0% do consumo total de energia primária. No que se refere ao consumo de carvão, este representou em 2007 cerca de 11,3% do total do consumo de energia primária. Prevê-se uma redução progressiva do peso do carvão na produção de electricidade, devido ao seu impacto nas emissões de CO<sub>2</sub>. Em 2007 o contributo das *energias renováveis* no consumo total de energia primária foi de 17,1% contra 16,3% em 2006 [9].

Embora Portugal seja um país extremamente dependente face a países terceiros, é visto por muito como sendo um país privilegiado para a utilização em larga escala de energias renováveis pois possui uma elevada exposição solar, uma rede hidrográfica relativamente densa e uma frente marítima que beneficia dos ventos atlânticos [11].

De entre as muitas alternativas de produção energética que se apresentam a Portugal, a energia solar - fotovoltaica e térmica - é talvez a fonte mais privilegiada num país com as

características climáticas do nosso, onde o período médio de exposição solar anual varia entre as 2200 e as 3000 horas, valor largamente superior, por exemplo, ao dos países da Europa Central onde essa incidência não ultrapassa as 1200 a 1700 horas [11].

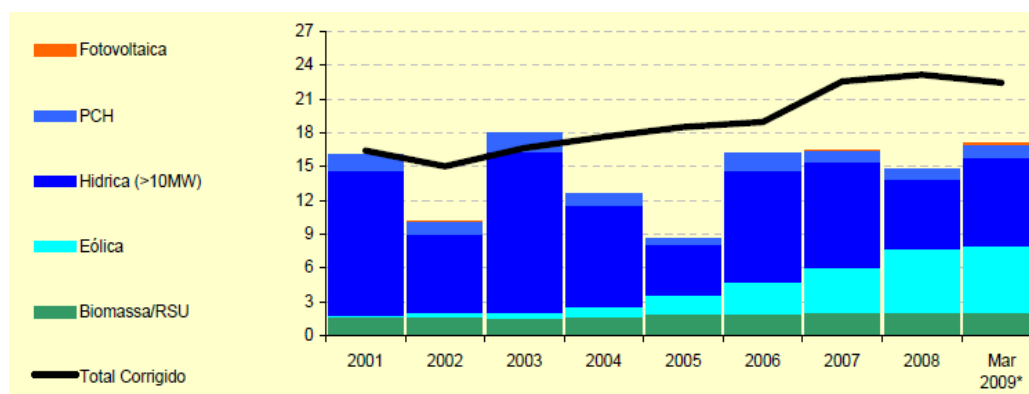
O aproveitamento da energia solar passiva, referente à energia consumida nos edifícios, que representa 21% do consumo final total do país, não está ainda suficientemente divulgada entre a população e os próprios profissionais do sector. No entanto, calcula-se que a melhoria das condições de isolamento térmico e de orientação dos edifícios poderia baixar esse consumo em 38% [11].

No quadro da Directiva 2001/77/CE [5], de 27 de Setembro de 2001, relativa à promoção de electricidade produzida a partir de fontes de energias renováveis (FER), Portugal assumiu o compromisso de, até 2010, atingir uma meta de 39%. Sendo assim, a aposta de Portugal nas energias renováveis assume um papel extremamente importante hoje em dia.

Esta aposta nas Energias Renováveis visa limitar a intensidade carbónica da economia e contribuir para a diversificação e sustentabilidade do sector energético e, assenta em especial, no desenvolvimento das energias hídrica e eólica, na biomassa, no incentivo aos biocombustíveis e na energia solar [12].

Segundo a Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG) [13], em Portugal, algumas fontes de energia, como são o caso da energia hídrica, eólica e biomassa (incluindo o tratamento de resíduos), podem em determinadas condições ser comercialmente competitivas com os equipamentos de conversão dos combustíveis fósseis pois estas já atingiram um estado de maturidade considerável.

Em Portugal a produção de energia a partir de fontes de energia renováveis é dominada pela energia hídrica, seguindo-se a energia eólica como se pode ver no gráfico da Figura 2.2.

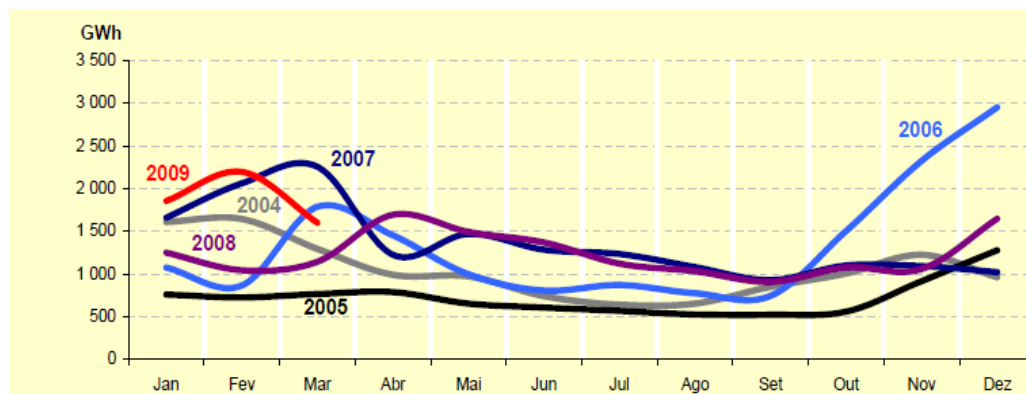


**Figura 2.2** - Evolução da energia produzida a partir de fontes renováveis. [7]

De acordo com a DGEG [7] no final de Março de 2009, Portugal tinha 8 502 MW de capacidade instalada para produção de energia eléctrica a partir de FER. A produção total de energia eléctrica, a partir de FER, regista, para o 1º trimestre de 2009, um acréscimo de 64%

relativamente a igual período do ano anterior, devido essencialmente ao comportamento da sua componente hídrica.

A incorporação de FER no consumo bruto de energia eléctrica, para efeitos da Directiva, foi de 43,3% em 2008. Portugal volta a ser, em 2008, o terceiro país da UE-15<sup>1</sup> com maior incorporação de energias renováveis. Em 2009 estima-se que a incorporação de FER seja na ordem dos 42% [7].



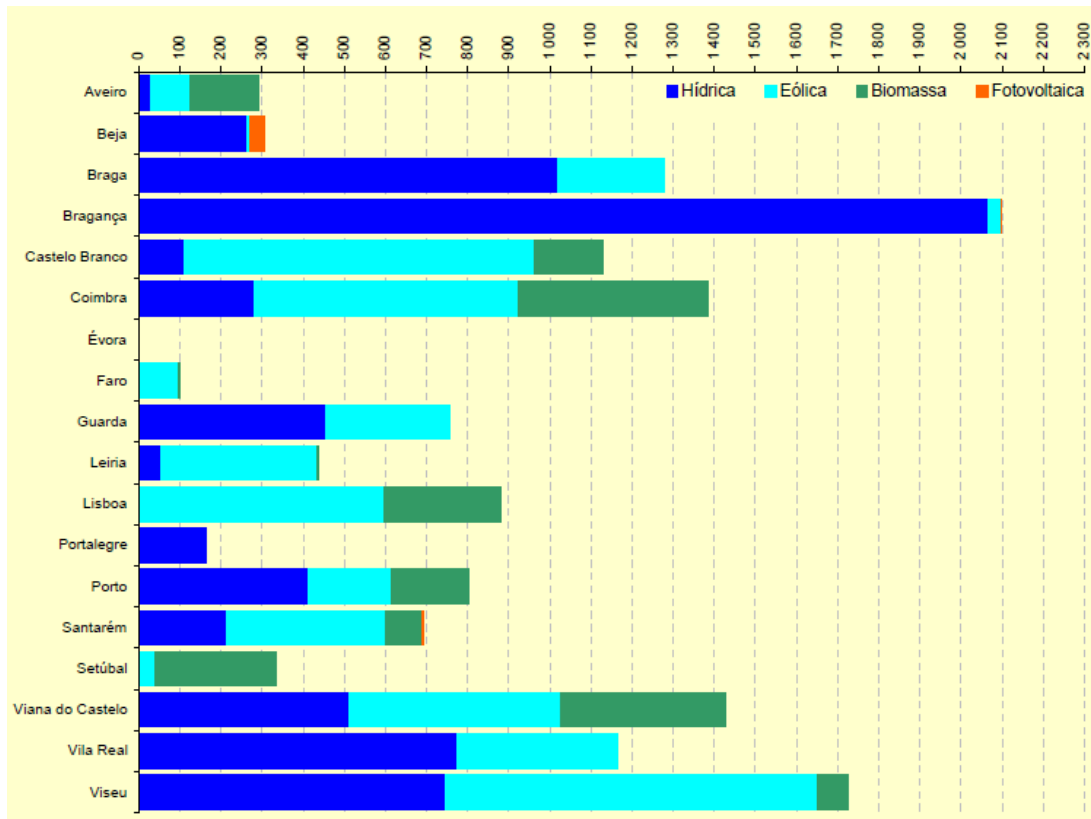
**Figura 2.3** - Produção mensal de energia eléctrica a partir de fontes de energia renováveis (GWh) em Portugal Continental [7]

A produção de energia eléctrica a partir de FER continua a crescer, acompanhando a evolução da sua componente hídrica (59% da potência instalada em 2008). Comparando a produção de Março de 2009 com a registada em igual período de 2008, verifica-se um acréscimo da produção (1,16 kWh vs 1,14TWh), enquanto a sua componente hídrica duplica a sua produção [7].

Nos últimos anos a energia eólica tem sido alvo de uma forte aposta sendo aquela que maior crescimento apresentou. Dados da DGEG [7] mostram que a potência eólica instalada no final de Março de 2009 se situava em 3 134 MW, distribuída por 181 parques, com um total de 1 680 aerogeradores ao longo de todo o território Continental sendo que 40% da potência instalada situa-se em parques com potência igual ou inferior a 25 MW. A produção eólica, no 1º trimestre de 2009, cresceu 14% relativamente a igual período de 2008. Em Março a produção foi 4% inferior à verificada no mês homólogo do ano anterior.

<sup>1</sup> UE-15- Áustria, Bélgica, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Holanda, Portugal, Espanha, Suécia, Reino Unido





**Figura 2.4** - Produção de energia eléctrica a partir de fontes renováveis por distrito em 2008 (GWh) em Portugal Continental [7]

A produção de energia eléctrica a partir de FER está concentrada no Norte do país, principalmente nos distritos de Viana do Castelo, Bragança, Viseu, Coimbra, Vila Real, Braga e Castelo Branco (1060, 1006, 967, 853, 687, 643 e 600 MW respectivamente). Excluindo a grande hídrica, Viseu, Coimbra, Castelo Branco, Viana do Castelo, Lisboa, Vila Real, Guarda, Leiria, Braga e Santarém são os principais distritos em termos de potência instalada (717, 586, 490, 395, 326, 307, 241, 204, 203 e 158 MW respectivamente), correspondendo a potência destes dez distritos a 85% do total, em Março de 2009 [12].

Como referência podemos salientar que actualmente Portugal dispõe de uma das maiores centrais solares do mundo, situada em Serpa no Alentejo constituída por 52 mil painéis fotovoltaicos, com uma potência total de 11 MW, que transformarão a radiação solar em electricidade suficiente para suprir o consumo de oito mil pessoas [10].

No gráfico da Figura 2.5, divulgado pela Direcção Geral de Energia e Geologia, que apresenta a evolução da potência licenciada (até ao final do 1º trimestre de 2009) verifica-se que uma das grandes apostas de Portugal continua a ser o sector eólico [7].

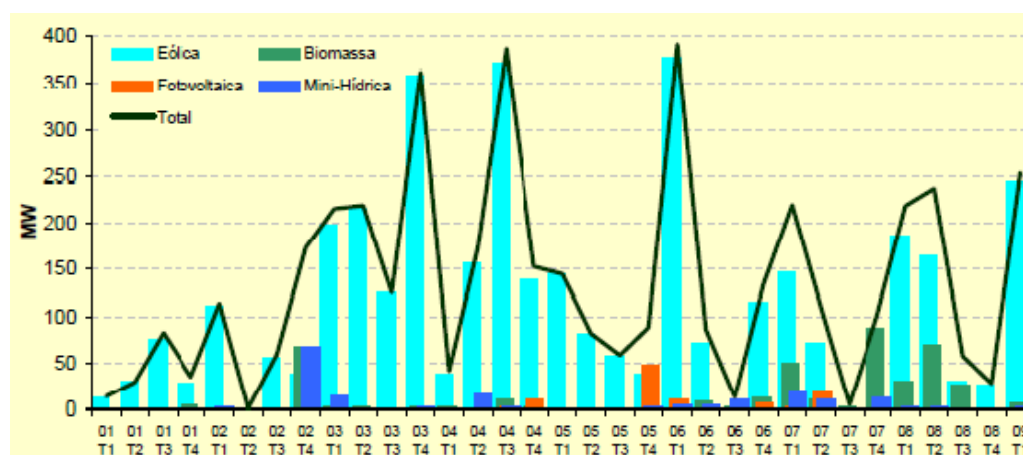


Figura 2.5 - Evolução da potência licenciada. [7]

## 2.4 - Uso das Energias Renováveis no resto do Mundo

Nas últimas décadas, o nosso estilo de vida e a crescente riqueza tiveram um efeito profundo sobre o sector da energia, alterando consideravelmente o panorama energético.

A crescente procura de energia, a subida dos preços do petróleo, o abastecimento incerto de energia e temores do aquecimento global têm aberto os olhos para o facto de que a energia não pode mais ser tomada como garantida. Os líderes da UE têm, assim, um compromisso de aumentar a utilização de fontes renováveis de energia contribuindo activamente para substituir os combustíveis fósseis, diversificar o nosso aprovisionamento energético e reduzir as nossas emissões de carbono. Incrementar o investimento em energias renováveis, eficiência energética e novas tecnologias contribui para o desenvolvimento sustentável e para a segurança do abastecimento, para além de ajuda a criar novos empregos, crescimento económico, maior competitividade e desenvolvimento rural. A existência de um quadro global para a promoção e utilização das energias renováveis é assim necessária pois só este pode oferecer à comunidade empresarial a estabilidade de longo prazo necessária para se tomarem decisões de investimento racionais no sector das energias renováveis e colocar assim, no futuro, a União Europeia numa via mais limpa, mais segura e energeticamente mais competitiva.

Como foi anteriormente referido, a mobilização em torno de novas soluções acentuou-se, fortemente, com a constatação do facto de o consumo excessivo de energias fósseis - especialmente nos países ricos - provocar o aquecimento global do planeta. Foi a consciencialização desta ameaça esteve na base dos Acordos de Quioto (1998).

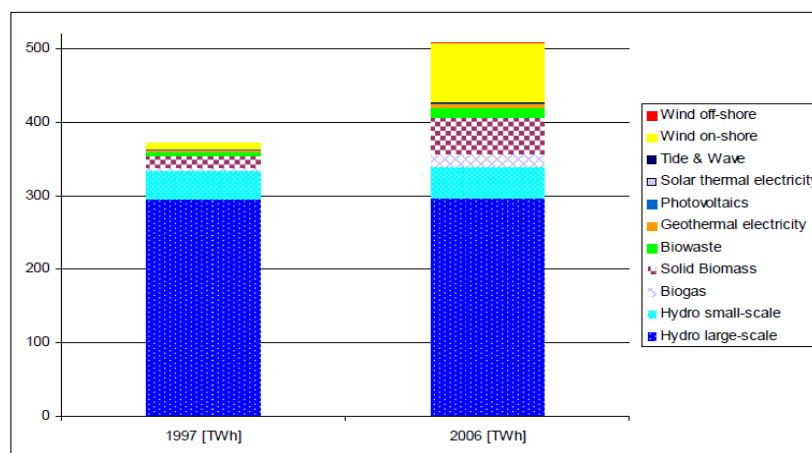
O protocolo de Quioto foi discutido e negociado em Quioto no Japão em 1997, sendo aberto para assinaturas em 16 de Março de 1998 e ratificado em 15 de Março de 1999. Entrou oficialmente em vigor em 16 de Fevereiro de 2005, depois da Rússia o ter ratificado em Novembro de 2004 [14]. Com a criação do Protocolo de Quioto, o mais importante

instrumento na luta contra as alterações climáticas, o objectivo passa por reduzir a temperatura global do planeta entre 1.4°C e 5.8°C até 2100. Nesse sentido, neste mesmo protocolo foi proposto um calendário pelo qual os países desenvolvidos têm a obrigação de reduzir a quantidade de gases poluentes em, pelo menos, 5.2% até 2012, em relação aos níveis de 1990 [14].

No entanto, é importante referir que este é um protocolo que apenas faz sentido para os que acreditam que as emissões de gases poluentes, principalmente aqueles provenientes da queima de combustíveis fósseis, são os principais responsáveis pelo aquecimento global. Não acreditando nos motivos citados, aquele que é o maior emissor de gases estufa do planeta, os Estados Unidos, decidiu não ratificar o Protocolo de Quioto, alegando através do presidente George W. Bush de que os compromissos por este acarretados iriam interferir negativamente na economia norte-americana e questionando também o consenso científico de que os poluentes emitidos pelo Homem causem a elevação da temperatura da Terra [15].

No sentido de atingir, entre muitos outros objectivos, o proposto nos Acordos de Quioto, em 1997, a União Europeia definiu uma meta que fixava uma quota de 12% de energias renováveis no consumo interno bruto em 2010, o que representa uma duplicação da contribuição das energias renováveis em comparação com 1997. Quatro anos mais tarde, foi ratificada a Directiva 2001/77/CE, onde todos os Estados-Membros adoptaram metas nacionais para o consumo de electricidade produzida a partir de fontes de energia renováveis. Nessa directiva [5], para além da meta que fixava uma quota de 12% de energias renováveis no consumo interno bruto em 2010, foi definida uma outra meta que apontava para que em 2010, 21% do consumo global de electricidade na UE fosse produzido a partir de fontes de energia renováveis.

Como consequência desta Directiva, desde 1997 até 2006, verificou-se um aumento de 55% na contribuição das energias renováveis em termos energéticos absolutos [16].



**Figura 2.6** - Comparação das quantidades de electricidade gerada a partir de FER nos Estados Membros da UE-27 nos anos de 1997 e 2006 [16]

No último relatório apresentado pela União Europeia [17] é salientado que, embora se tenham observado progressos significativos nos últimos anos e alguns Estados-Membros estejam efectivamente em vias de atingir a sua meta, verificou-se que a maioria dos países estão atrasados e que a quantidade de electricidade produzida a partir das fontes de energia renováveis apenas atingirá os 19% até 2010, não atingido assim a meta de 21% <sup>2</sup>.

No entanto, no mesmo relatório [17] dados do Eurostat apontam para um aumento das taxas de crescimento da electricidade verde que em 2006 apresentam uma quota de 15,7 % na UE, assistindo-se a um aumento em comparação com os 14,5 % em 2004, e que até à data, a maior parte deste crescimento se deve à energia eólica num número limitado de Estados-Membros.

De acordo com a Comissão Europeia [18], em 2005, a repartição das diferentes fontes de energia renováveis produzidas na UE era a seguinte: 66,1% para a biomassa, 22,2% para a energia hidráulica, 5,5% para a energia eólica, 5,5% para a energia geotérmica e 0,7% para a energia solar (térmica e fotovoltaica).

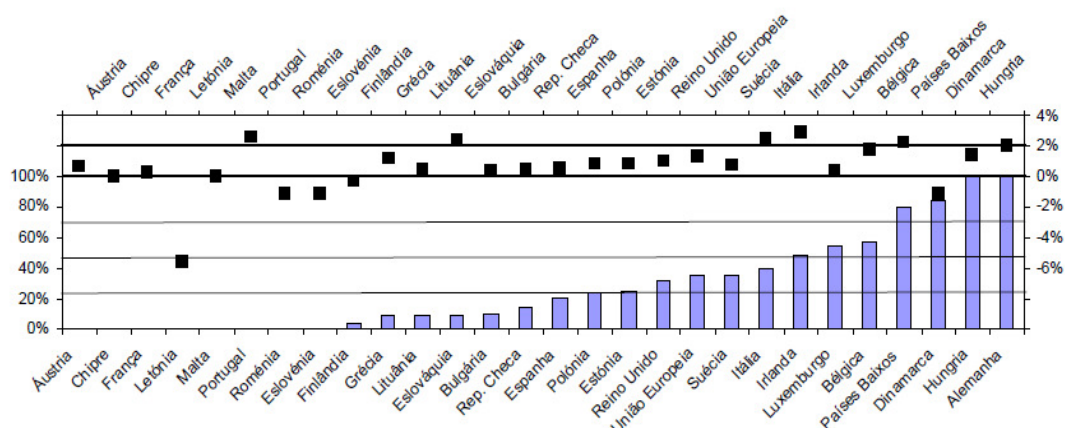
Como foi referido e apesar do crescimento verificado, a UE não crê no cumprimento das metas propostas [17]. Como justificação para tal insucesso a UE [18] avança várias razões nomeadamente:

- Elevado custo das energias renováveis em termos de investimentos e em virtude de não se ter em conta as externalidades, o que confere uma vantagem artificial aos combustíveis fósseis.
- Existência de uma informação deficitária dos fornecedores, dos clientes e dos instaladores.
- O facto de a meta de 12% ser expressa em percentagem de energia primária, penalizando a contribuição da energia eólica onde se verifica um forte crescimento no período em questão.
- Existência de regras opacas e/ou discriminatórias para o acesso à rede.
- Problemas administrativos ligados aos procedimentos de instalação e à natureza descentralizada da maioria das aplicações das energias renováveis

Os progressos verificados nos diferentes membros no sentido de atingir a meta definida para 2010 (colunas e eixo da esquerda) e a evolução nas quotas de electricidade renovável dos Estados-Membros em 2004-2006 (pontos, eixo da direita) encontram-se representados na Figura 2.7 [19].

---

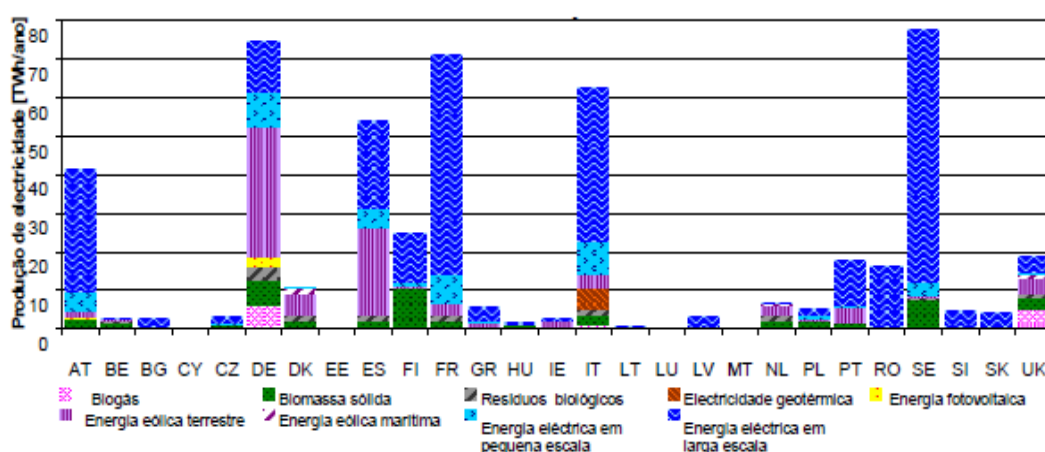
<sup>2</sup> Trata-se da meta de 21 % relativa à *electricidade* a partir de fontes de energia renováveis em 2010.



**Figura 2.7** - Progressos e evolução nas quotas de electricidade renovável dos Estados-Membros em 2004-2006 [19]

No gráfico da Figura 2.7 é possível ver claramente que o desempenho dos Estados-Membros abrange todo o espectro. A Hungria e a Alemanha já atingiram a sua meta, enquanto que vários países ainda terão de desenvolver grandes esforços até 2010, sendo portanto necessária uma acção rápida e eficaz com esse fim em vista.

Para além do facto de o crescimento da quota de electricidade renovável se ter devido a um pequeno número de Estados-Membros, a gama de tecnologias utilizadas foi igualmente limitada. É evidente que o maior crescimento observado foi na utilização da biomassa sólida e da energia eólica (Figura 2.6). Examinando a repartição nacional destas tecnologias, é mais uma vez perceptível que a maior parte dos progressos da UE se deve a um pequeno número de Estados-Membros, estando os outros Estados-Membros a progredir pouco ou até mesmo nada (Figura 2.8).

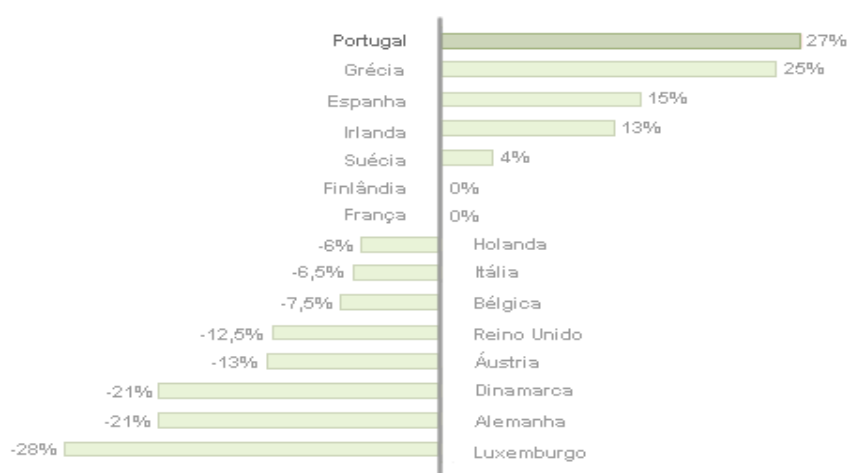


**Figura 2.8** - Repartição das tecnologias usadas por cada Estado-Membro em 2006 [19]

Outro factor relevante é a quantificação das emissões de GEE a nível da UE em relação ao objectivo de Quioto.

Como se sabe, as fontes de energia renováveis emitem poucos ou nenhuns GEE [20]. Energias renováveis como a eólica e a solar por exemplo são completamente limpas, ou seja, não geram qualquer GEE, no entanto, outras fontes renováveis, como por exemplo o biodiesel gera algum CO<sub>2</sub> no processo da queima destes combustíveis. No entanto este CO<sub>2</sub> assim produzido faz parte de um ciclo renovável que é infinitamente mais curto do que o ciclo dos combustíveis fósseis [20]. Como tal, o aumento da quota das fontes de energia renováveis no total dos combustíveis disponíveis contribuirá de positivamente para se obter uma redução significativa das emissões de gases com efeito de estufa da UE.

Foi, de certa forma, nesse contexto que a União procedeu à inclusão da meta de 21% até 2010, pois estima-se que com esta se obterão reduções da ordem de 600 a 900 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> por ano e valores entre 150 e 200 mil milhões de euros de poupança, se o preço da tonelada de CO<sub>2</sub> subir para 25 euros por tonelada [18].



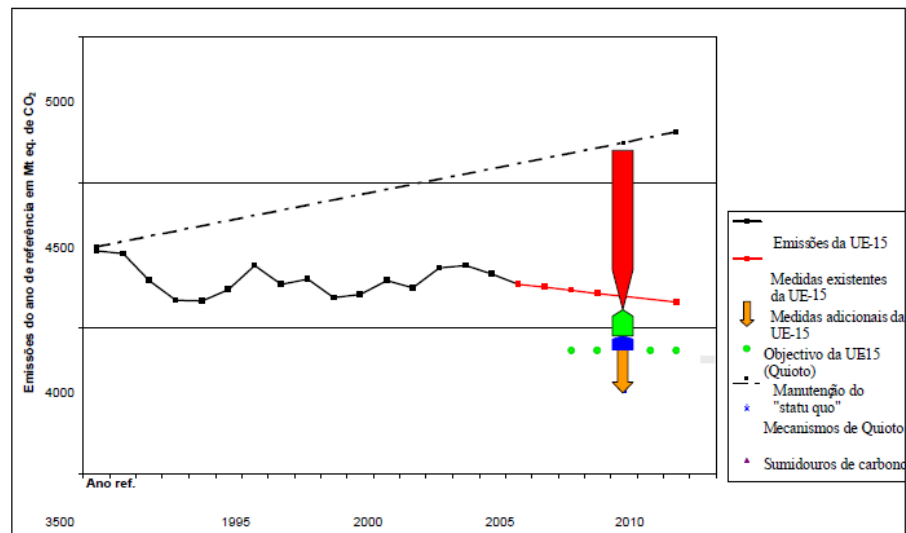
**Figura 2.9** - Compromisso de Quioto para os Países da UE-15 [22].

No âmbito do Protocolo de Quioto, a UE-15 assumiu conjuntamente o compromisso de reduzir as suas emissões de Gases com Efeito de Estufa em 8% relativamente a 1990, durante o período de 2008 e 2012 [21].

Recentes informações provenientes da Comissão Europeia [21] mostram que a Europa está no bom caminho para cumprir as metas estabelecidas para os quinze países mais antigos da União Europeia pelo Protocolo de Quioto. Estatísticas da Comissão Europeia mostram que pelo terceiro ano consecutivo, em 2007, a UE-15 conseguiu uma redução de 1,6% na taxa de emissões dos gases responsáveis pelo efeito de estufa e aquecimento global.

De acordo com as projecções apresentadas na Figura 2.10 [21] a Comunidade alcançará o seu objectivo de Quioto. Além disso, espera-se que os sectores abrangidos pelo regime de comércio de licenças de emissão da UE contribuam para uma redução de 3,3% das emissões, uma estimativa que não é totalmente tida em conta nas projecções.

Estas informações foram confirmadas pelo Comissário Europeu do Ambiente, Stavros Dimas [23], que afirmou que “a tendência confirmada em 2007, ano mais recente de que há dados concretos, é de extrema importância pois aconteceu numa altura em que o crescimento económico atingiu os 2,7%. Desta forma, a UE-15 poderá atingir o objectivo de redução das emissões em 8% no período entre 2008 e 2012, já que, com os dados de 2007, a Europa se posiciona 5% abaixo dos níveis de referência de 1990.”



**Figura 2.10** - Emissões reais e projectadas para a UE-15 [21]

Segundo as projecções [21], oito Estados-Membros da UE-15 - Bélgica, Alemanha, Grécia, Irlanda, Países Baixos, Portugal, Suécia e Reino Unido - estão actualmente na via para alcançar os seus objectivos até 2010 recorrendo às políticas e medidas em vigor. Quatro outros Estados-Membros - Áustria, Finlândia, França e Luxemburgo - parecem também poder alcançar os seus objectivos graças às políticas e medidas adicionais que prevêem adoptar a nível nacional. Três Estados-Membros - Dinamarca, Itália e Espanha - não parecem poder atingir os seus.

Com o intuito de, por um lado garantir que se atinjam as metas propostas no Protocolo de Quioto, e por outro dar continuidade à luta em prol das energias renováveis, em Janeiro de 2007, a Comissão Europeia apresentou uma nova proposta integrada para a energia/alterações climáticas que abordou as questões do abastecimento de energia, alterações climáticas e desenvolvimento industrial [19]. Dois meses depois, os Chefes de Estado europeus aprovaram o plano e concordaram com uma política energética para a Europa. O plano define metas ambiciosas como:

- 20% de aumento na eficiência energética
- 20% de redução nos gases com efeito de estufa (GEE) de emissões

- Quota de 20% de energias renováveis no consumo energético global da UE até 2020
- 10% de biocombustíveis em veículos componente combustível até 2020

Para alcançar estes objectivos a Comissão Europeia propôs a Directiva 2009/28/CE [6], recentemente aprovada, onde se estabelecem metas nacionais para a energia renovável, as quais resultam numa meta vinculativa global de 20% de energias renováveis no consumo de energia em 2020 e, numa meta mínima vinculativa de 10% de biocombustíveis nos transportes que deverá ser alcançado por cada Estado-Membro.

Três sectores estão implicados pelas energias renováveis: electricidade, aquecimento e arrefecimento e transportes. Cabe assim aos Estados-Membros a decisão sobre o mix de contribuições destes sectores para alcançar as suas metas nacionais, escolhendo os meios que melhor se adequam às suas circunstâncias nacionais. Ser-lhe-á também dada a opção de alcançar as suas metas apoiando o desenvolvimento de energias renováveis noutros Estados-Membros e países terceiros.

O mínimo de 10% de biocombustíveis nos transportes é aplicável em todos os Estados-Membros pois estes são muito importantes no combate à dependência do petróleo no sector dos transportes, que é um dos mais graves problemas que afectam a segurança do abastecimento energético que a UE enfrenta [6].

Por último, a directiva visa também eliminar entraves desnecessários ao crescimento das fontes renováveis de energia, simplificando por exemplo os procedimentos administrativos para as novas energias renováveis desenvolvimentos, e incentiva o desenvolvimento de melhores tipos de energias renováveis (através da fixação de normas para a sustentabilidade dos biocombustíveis, etc.).

## **2.5 - Incentivos em Portugal ao uso de Energias Renováveis**

Segundo a Comissão Europeia [24], as medidas adoptadas até ao momento em Portugal relativamente à energia renovável constituem uma abrangente mistura de políticas.

Embora Portugal entre 1997 e 2004 se tenha afastado cada vez mais dos objectivos de produção de electricidade a partir de fontes de energia renováveis, nos últimos anos tem-se assistido a uma aproximação aos objectivos, sendo mesmo estes atingidos nos anos de 2008 e 2009.

Apesar de Portugal se encontrar no caminho certo para atingir esses objectivos as dificuldades encontradas para tal, sobretudo entre 1997 e 2004, devem-se em muito ao facto de os objectivos fixados não serem totalmente realistas uma vez que se baseiam no extraordinário desempenho da energia hidrológica de 1997 [24]. Mesmo assim, embora com muita dificuldade, prevê-se que Portugal atinja esse objectivo, e que assim as medidas tomadas sejam bem sucedidas.



O objectivo a que Portugal se propôs, no âmbito da Directiva 077/CE/2001, estabelece que a produção de electricidade a partir de fontes de energia renováveis em 2010 seja de 39% do consumo bruto de electricidade. Como tal, com o intuito de se estimular o objectivo de produzir electricidade a partir de fontes de energia renováveis, Portugal adoptou um conjunto de medidas nomeadamente:

- Tarifa aplicável às instalações de produção de energia eléctrica em baixa tensão, licenciadas ao abrigo do referido D. L. n.º 68/2002, de 25 de Março, recentemente actualizado pelo D. L. n.º 363/2007 [24].
- Adopção de procedimentos de concursos públicos em 2005 e 2006 relativamente às instalações eólicas e de biomassa [24].
- Tarifa diferenciada para a produção de electricidade a partir de fontes de energia renovável (Decreto-Lei n.º 168/99 de 18 de Maio, actualizado através do Decreto-Lei n.º 33-A/2005).
- Possibilidade de se obter incentivos reembolsáveis até 40% das despesas elegíveis [24].
- Como efeito da transposição da Directiva 2003/30/EC para a lei nacional, em Janeiro de 2006, os seguintes tipos de apoio estão disponíveis para a produção de biocombustíveis:
  - Isenção total do ISP para biocombustíveis produzidos em certos projectos-piloto;
  - Isenção total ou parcial de impostos especiais de consumo até uma quota estabelecida anualmente;
  - Possibilidade de imposição de uma quota para biocombustíveis e combustíveis de transporte, bem como o estabelecimento de acordos voluntários sempre que a quota do biocombustível em combinações ultrapasse os 15% no caso de frotas de transportes públicos [24].
- Existência de incentivos fiscais para a aquisição de equipamentos que utilizem energias renováveis [25]. Sirva como exemplo, o enunciado do ponto 2.4. da Lista II Anexa ao Código do IVA, respeitante aos bens e serviços sujeitos à taxa intermédia de 12%: “Aparelhos, máquinas e outros equipamentos exclusiva ou principalmente destinados a:
  - captação e aproveitamento da energia solar, eólica e geotérmica;
  - captação e aproveitamento de outras formas alternativas de energia.”
- Existência de incentivos fiscais, em regime de IVA, como:
  - Isenção de imposto para as importações de gás feitas através do sistema de distribuição de gás natural e de electricidade [28].
  - direito à dedução na proporção de 50% do imposto devido às aquisições de gases de petróleo liquefeito (GPL), gás natural e biocombustíveis;

- direito à dedução total do imposto relativo aos consumos de GPL, gás natural e biocombustíveis, quando aplicados em: veículos pesados de passageiros, veículos licenciados para transportes públicos (exceptuando os rent-a-car), máquinas consumidoras de GPL, gás natural ou biocombustíveis, que não sejam veículos matriculados, tractores com emprego exclusivo ou predominante na realização de operações culturais inerentes à actividade agrícola; veículos de transporte de mercadorias com peso superior a 3 500 kg.
  - aplicação da taxa reduzida de 5% ao gás natural [27].
- 
- Adopção de um vasto leque de medidas para se garantir o cumprimento do objectivo da produção de calor e frio a partir de fontes de energia renováveis.
  - Possibilitou-se uma acelerada desvalorização dos investimentos em equipamento solar térmico. Na região da Madeira, estão disponíveis subsídios a fundo perdidos para sistemas solares térmicos domésticos.
  - Introdução da obrigação de instalação de sistemas solares térmicos nos novos edifícios [26].
  - Apoios ao investimento, como por exemplo, a Medida de Apoio ao Aproveitamento do Potencial Energético e Racionalização de Consumos (MAPE) do Programa de Incentivos à Modernização da Economia (PRIME) reguladas pela Portaria n.º 394/2004 (D.R. n.º 92 I Série B de 19 de Abril) alterada pela Portaria n.º 455/2005 de 2 de Maio e estiveram em vigor entre 2000 a 2006 [25].
  - A introdução da iniciativa “Renováveis na Hora, no plano para a política de energia e alterações climáticas apresentado em Fevereiro de 2007 pelo Ministério da Economia, que visa promover a instalação de 50 mil sistemas fotovoltaicos ou mini-eólicos até 2010, com um especial incentivo à instalação de colectores solares para aquecimento de água em habitações existentes.
  - Publicação do Decreto-Lei n.º 363/2007, de 2 de Novembro, que aprova o regime simplificado aplicável à micro-produção de electricidade que, segundo a Associação Portuguesa das Energias Renováveis (APREN), em conjunto com as medidas previstas para o sector na Proposta de Orçamento Estado para 2008, “podem vir a virar mais uma página na história da electricidade em Portugal, em especial a de origem renovável”.
  - Promoção do Programa de Incentivo à utilização de Energias Renováveis - Solar Térmico 2009, através do qual o consumidor poderá adquirir um produto “chave-na-mão”, que inclui um sistema completo de painéis solares e equipamento acessório, a sua instalação, uma garantia de 6 anos e um serviço de manutenção com uma visita anual durante 6 anos, tudo a um custo muito competitivo, parte do qual participado a fundo perdido pelo Estado.

# Capítulo 3

## Microgeração

### 3.1 - Introdução

A aposta nas novas tecnologias energéticas tem vindo a ser fortemente influenciada pelos preços internacionais dos combustíveis fósseis (barril de petróleo). Contudo, nos nossos dias mais dois factores impulsionam a decisão de investir: as preocupações com a segurança de abastecimento e os problemas ambientais.

A produção de energia eléctrica através de instalações de pequena escala utilizando fontes renováveis de energia ou processos de conversão de elevada eficiência energética pode contribuir para uma alteração do panorama energético português de forte dependência do exterior [29]. Em adição, a instalação de geradores de pequena dimensão localizados junto dos pontos de consumo permite reduzir perdas na rede eléctrica, aumentar a fiabilidade do fornecimento de electricidade e ainda permite adiar investimentos no reforço das infra-estruturas de rede [29]. Estas vantagens contribuem para melhorar o desempenho ambiental do sistema energético no seu todo.

As redes de baixa tensão a que se ligam estes equipamentos terão potencialmente cada vez mais protagonismo, podendo através do recurso a tecnologias de informação vir a afirmar-se como células activas, permitindo uma gestão integrada de microgeradores e cargas, por forma a obter uma maior eficiência económica e energética, e permitir autonomia local em caso de falta da rede pública [29].

Esta panóplia de novas tecnologias, aliada a um novo conceito de gestão das redes eléctricas, poderá vir a afirmar-se como a pedra de toque de uma mudança de paradigma do sistema energético nacional e internacional.

Nesse sentido neste capítulo pretende-se definir e enquadrar a Microgeração no Sistema Eléctrico Nacional (SEN), apresentar alguns benefícios associados à Microgeração e por último fazer uma referência à legislação vigente em Portugal para a produção de energia eléctrica a

partir de energias renováveis bem como para a micro produção de electricidade, como actividade de produção de electricidade em baixa tensão.

### 3.2 - Definição e enquadramento no Sistema Eléctrico Nacional

Embora não exista uma definição concreta para Microgeração, esta pode ser definida como sendo a produção de energia eléctrica feita através de instalações de pequena escala usando fontes renováveis ou processos de conversão de elevada eficiência (microturbinas, células de combustível, microeólicas, painéis fotovoltaicos, mini e micro-hídricas, co-geração), ligados à rede de baixa tensão [30].

A microgeração encontra-se incluída na produção em regime especial que, por seu lado, se encontra devidamente enquadrada nas bases gerais de organização e funcionamento do SEN.

Relativamente ao SEN, pode-se dizer que este está regulamentado através do DL n.º 29/2006, de 15 de Fevereiro e que, segundo tal decreto-lei, em termos organizativos, este pode ser dividido em cinco actividades principais: produção, transporte, distribuição, comercialização e operação dos mercados organizados de electricidade [32].

Segundo o sítio da Rede Eléctrica Nacional (REN) [31], a produção de electricidade é dividida em dois regimes, como se encontra ilustrado na Figura 3.1:

- Produção em regime ordinário, relativa à produção de electricidade com base em fontes tradicionais não renováveis e em grandes centros electroprodutores hídricos;
- Produção em regime especial corresponde a produção de electricidade com incentivos à utilização de recursos endógenos e renováveis ou a produção combinada de calor e electricidade.

Produção	Transporte	Distribuição	Comercialização
<b>Regime Ordinário</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• EDP Produção (CAE a terminar)</li> <li>• EDP Produção (Central TER e várias Centrais hidroeléctricas)</li> <li>• EDIA</li> <li>• Outros produtores</li> <li>• Turbogás (através de CAE)</li> <li>• Tejo Energia (através de CAE)</li> </ul> <b>Regime especial</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Produtores de fontes renováveis e de biomassa</li> <li>• Co-geração</li> </ul>	<b>Rede Nacional de Transporte</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Muito alta tensão (Concessão de Serviço Público)</li> <li>• REN - Redes Energéticas Nacionais</li> </ul>	<b>Rede Nacional de Distribuição</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta e média tensão (Concessão de serviço público)</li> <li>• EDP - Distribuição</li> <li>• Baixa tensão distribuidores (Concessões municipais)</li> <li>• EDP - Distribuição</li> <li>• Vários cooperativos</li> </ul>	<b>Comercializadores regulados (Comercializador de último recurso)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• EDP Serviço Universal</li> <li>• Cooperativas de consumidores</li> </ul> <b>Comercializadores não regulados</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• EDP Comercial</li> <li>• Endesa / Sodesa</li> <li>• Iberdrola</li> <li>• União Fenosa</li> <li>• Viesgo</li> <li>• Outros</li> </ul>

Figura 3.1 - Organização do SEN [31].

O actual interesse demonstrado por um aumento da produção de energia de origem renovável a partir de produtores independentes deve-se em muito à importância que as questões ambientais têm nos dias de hoje, ao aumento do interesse na liberalização do mercado de energia, onde os consumidores decidem a quem comprar energia, consoante a relação preço - qualidade e também ao melhoramento no caso da microgeração, dos índices de qualidade das redes.

Para além disso, a produção de energia eléctrica através de sistemas de geração de pequena escala (microgeração), localizados junto dos locais de consumo e utilizando fontes renováveis de energia, ou processos de conversão de elevada eficiência energética, será mais um contributo para a qualificação do sistema energético português.

Citando as palavras do Secretário de Estado Adjunto da Indústria e da Inovação a propósito da Conferência “Microgeração: A mudança de paradigma do sistema eléctrico” realizada em Lisboa a 13 de Março do ano de 2007 [30], a integração da microgeração na rede eléctrica é importante porque:

- “A microgeração traz benefícios acrescidos em termos de redução das perdas nas redes eléctricas, com consequente redução de emissões de CO<sub>2</sub>, e adiamento de investimentos no reforço das redes eléctricas.”
- “Estes benefícios técnicos traduzem-se em benefícios económicos significativos para o operador da rede de distribuição, que assim deve encarar este desafio como uma oportunidade para aumentar a eficiência da sua actividade.”

A criação de condições para a produção descentralizada de pequena escala, renovável ou de elevada eficiência, contribuirá também para reduzir a dependência energética nacional, criar uma relação mais íntima dos consumidores com a energia, fomentando a eficiência nos usos e aumentando a sua responsabilidade ambiental, e reduzir a factura energética dos consumidores residenciais e de serviços.

A micro produção de electricidade, como actividade de produção de electricidade em baixa tensão com possibilidade de entrega de energia à rede eléctrica pública, era regulada pelo Decreto-Lei n.º 68/2002, de 25 de Março.

Porém, em Portugal, a existência de condições para a integração em larga escala da pequena ou micro produção descentralizada eram ainda limitadas e pouco consistentes, sendo premente a apresentação das tecnologias actualmente disponíveis e a discussão dos constrangimentos administrativos ainda existentes. A legislação vigente em Portugal neste domínio conduzia a uma excessiva centralização administrativa dos processos de licenciamento [35].

Por outro lado, havia a necessidade de rever a regulamentação associada à remuneração mais justa da energia eléctrica injectada na rede, incorporando as suas externalidades positivas e acompanhada de uma promoção mais forte de projectos de demonstração neste domínio é absolutamente urgente [35].

Assim sendo em Novembro de 2007, o Governo publicou o Decreto-Lei Nº 363/2007 que veio regular a venda de energia eléctrica produzida através da microgeração ou produção distribuída, permitindo que o próprio consumidor - particular ou empresa - seja também produtor de electricidade, utilizando pequenos equipamentos, tais como, painéis solares ou microeólicas, que é vendida para a rede de distribuição nacional, através de um registo e de um processo simples e sem burocracias.

### 3.3 - Legislação Vigente

#### 3.3.1- Produção de energia eléctrica baseada em Recursos Renováveis

Actualmente, a legislação vigente, com maior importância, no que se refere à produção de energia eléctrica a partir de recursos renováveis é o DL n.º 189/88, de 27 de Maio, com a redacção dada pelo DL n.º 168/99, de 18 de Maio, alterado pelo DL n.º 339-C/2001, de 29 de Dezembro. O DL n.º 33-A/2005 de 16 de Fevereiro por sua vez introduziu modificações ao DL n.º 339-C/2001.

O DL n.º 33-A/2005 de 16 de Fevereiro actualiza os valores constantes da fórmula de remuneração de electricidade produzida a partir de recursos renováveis, garantindo a respectiva remuneração por um prazo considerado suficiente para permitir a recuperação dos investimentos efectuados e expectativa de retorno económico mínimo dos promotores.

Neste decreto-lei é assim apresentada uma fórmula de remuneração diferenciada por tecnologia e regime de exploração, com destaque para as tecnologias renováveis. Sendo assim, as instalações licenciadas ao abrigo dos DL Nº 189/88 de 27 de Maio DL Nº 312/2001 de 10 de Dezembro, adiante designadas por centrais renováveis, serão remuneradas pelo fornecimento da electricidade entregue à rede através da fórmula (1) proveniente do DL n.º 33-A/2005 de 16 de Fevereiro:

$$VRD_m = [KMHO_m \times PF(VRD)_m + PV(VRD)_m + PA(VRD)_m \times Z] \times \left[ \frac{IPC_{m-1}}{IPC_{ref}} \right] \times \frac{1}{1-LEV} \quad (3.1)$$

Em que:

- $VRD_m$  é a remuneração aplicável a centrais renováveis no mês  $m$ , expressa em euros;
- $PF(VRD)_m$  é a parcela fixa da remuneração aplicável a centrais renováveis, no mês  $m$ ;

- $PV(VRD)_m$  é a parcela variável da remuneração aplicável a centrais renováveis, no mês  $m$ ;
- $PA(VRD)_m$  é a parcela ambiental da remuneração aplicável a centrais renováveis, no mês  $m$ ;
- $KMHO_m$  é o coeficiente que modula os valores de  $PF(VRD)_m$ , de  $PV(VRD)_m$  e de  $PA(VRD)_m$  em função do posto horário em que a electricidade tenha sido fornecida;
- Para efeitos deste coeficiente considera-se que:
  - No período de hora legal de Inverno, as horas vazias ocorrem entre as 0 e as 8 horas e entre as 22 horas e as 24 horas, sendo as restantes horas do dia consideradas horas cheias e de ponta;
  - No período de hora legal de Verão, as horas vazias ocorrem entre as 0 e as 9 horas e entre as 23 horas e as 24 horas, sendo as restantes horas do dia consideradas horas cheias e de ponta;
- $IPC_{m-1}$  é o índice de preços no consumidor, sem habitação, no continente, referente ao mês  $m-1$ ;
- $Z$  é o coeficiente adimensional que traduz as características específicas do recurso endógeno e da tecnologia utilizada na instalação licenciada;
- $IPC_{ref}$  é o índice de preços no consumidor, sem habitação, no continente, referente ao mês anterior ao do início do fornecimento de electricidade à rede pela central renovável;
- $LEV$  representa as perdas, nas redes de transporte e distribuição, evitadas pela central renovável.

### 3.3.2- Produção de energia eléctrica em Baixa Tensão

A micro produção de electricidade, como actividade de produção de electricidade em baixa tensão com possibilidade de entrega de energia à rede eléctrica pública, era regulada pelo Decreto-Lei n.º 68/2002, de 25 de Março no qual se previa que a electricidade produzida se destinasse predominantemente a consumo próprio, sendo o excedente passível de ser entregue a terceiros ou à rede pública, com o limite de 150 kW de potência no caso de a entrega ser efectuada à rede pública [33].

No entanto, passados mais de cinco anos após a entrada deste em vigor verificou-se que o número de sistemas de microgeração de electricidade licenciados e a funcionar ao abrigo deste enquadramento legal não atingiu uma expressão significativa como seria pretendido.

Por outro lado, o Decreto-Lei n.º 312/2001, de 10 de Dezembro, estabelecia as disposições aplicáveis à gestão da capacidade de recepção de electricidade nas redes do Sistema Eléctrico de Serviço Público (SEP), por forma a permitir a recepção e a entrega de

electricidade proveniente de novos centros electroprodutores do Sistema Eléctrico Independente (SEI). Contudo, esse decreto-lei aplicava-se a todos os centros electroprodutores, independentemente da sua potência nominal ou localização geográfica, conduzindo, assim, a uma excessiva centralização administrativa dos processos de licenciamento de micro ou pequena ou microdimensão.

Desta forma, a 2 de Dezembro de 2007, foi criado o Decreto-Lei n.º 363/2007 que simplifica significativamente o regime de licenciamento anteriormente existente, substituindo-o por um regime de simples registo, sujeito a inspecção de conformidade técnica. De acordo com este decreto-lei agora em vigor [33], a entrega e a análise de projecto foram substituídas pela criação de uma base de dados de elementos-tipo preexistente que o produtor deve respeitar, encurtando-se assim um procedimento com duração de vários meses a um simples registo electrónico.

Para tal foi criado o Sistema de Registo da Microprodução (SRM), que constitui uma plataforma electrónica de interacção com os produtores, no qual todo o relacionamento com a Administração, necessário para exercer a actividade de microprodutor, poderá ser realizado.

Com a publicação do DL n.º 363/2007 foi também, passo a transcrever [33], “previsto um regime simplificado de facturação e de relacionamento comercial, de forma a evitar a emissão de facturas e acertos de IVA pelos particulares que, para esse efeito, são substituídos pelos comercializadores. O microprodutor recebe ou paga através de uma única transacção, pelo valor líquido dos recebimentos relativos à electricidade produzida e dos pagamentos relativos à electricidade consumida.”

De referir ainda que o presente decreto-lei cria, também, dois regimes de remuneração: o regime geral e o bonificado. O primeiro é aplicável à generalidade das instalações sendo o segundo apenas aplicável às fontes renováveis de energia, cujo acesso é condicionado à existência no local de consumo de colectores solares térmicos, no caso de produtores individuais, e da realização de auditoria energética e respectivas medidas, no caso de condomínios. Assim o incentivo associado à venda de electricidade é utilizado para promover a água quente solar, complementando o Decreto-Lei n.º 80/2006, de 21 de Abril, que estabelece a obrigatoriedade de instalação destes sistemas nos novos edifícios.

O DL n.º 363/2007 encontra-se disposto em Anexo I.

No artigo 4º do DL n.º 363/2007, relativo ao acesso à actividade de produção pode ler-se, entre outras coisas, que:

1. Podem ser produtores de electricidade por intermédio de unidades de microprodução todas as entidades que disponham de um contrato de compra de electricidade em baixa tensão.



2. A unidade de micro produção deve ser integrada no local da instalação eléctrica de utilização.
3. Os produtores de electricidade nos termos do presente decreto-lei não podem injectar na Rede Eléctrica de Serviço Público, no âmbito desta actividade, uma potência superior a 50 % da potência contratada para a instalação eléctrica de utilização. (O valor máximo de Potência de Ligação é de 5.75 kW para o regime geral e de 3.68kW no regime bonificado).
4. O limite estabelecido no número anterior não é aplicável às instalações eléctricas de utilização em nome de condomínios.
5. O acesso à actividade de micro produção é sujeito a registo no SRM nos termos do artigo 13.º

No capítulo II, denominado por Remuneração e facturação, nos artigos 9º, 10º e 11º, respeitantes aos regimes remuneratórios, geral e bonificado, define-se que os produtores têm acesso a dois regimes remuneratórios:

- Regime geral, (com potência de ligação até 5.75 kW, 25A monofásicos) aplicável a todos os que tenham acesso à actividade, nos termos do artigo 4.º, para o qual a tarifa de venda de electricidade é igual ao custo da energia do tarifário aplicável pelo comercializador de último recurso do fornecimento à instalação de consumo.
- Regime bonificado, para unidades de micro produção com potência de ligação até 3,68 kW que utilizem as fontes de energia previstas no n.º 5 do artigo 11.º, aplicável segundo determinadas condições:
  - 1) Para cada produtor no regime bonificado é definida uma tarifa única de referência aplicável à energia produzida no ano da instalação e nos cinco anos civis seguintes.
  - 2) A tarifa única de referência aplicável é a seguinte:
    - a) Aos primeiros 10 MW de potência de ligação registados a nível nacional, a tarifa de referência é de € 650/MWh;
    - b) Por cada 10 MW adicionais de potência de ligação registada a nível nacional, a tarifa única aplicável é sucessivamente reduzida de 5 %.
  - 3) Após o período de 5 anos previsto no n.º 1 e durante o período adicional de 10 anos, aplica-se à instalação de micro produção, anualmente, a tarifa única correspondente à que seja aplicável, no dia 1 de Janeiro desse ano, às novas instalações que sejam equivalentes.
  - 4) Após o período previsto no número anterior, aplica-se à instalação de micro produção o regime geral previsto no artigo 10º.
  - 5) O tarifário de referência previsto no n.º 2 depende do tipo de energia renovável utilizada, mediante a aplicação das seguintes percentagens à tarifa de referência:

- a) Solar – 100 %;
  - b) Eólica – 70 %;
  - c) Hídrica – 30 %;
  - d) Cogeração a biomassa – 30 %;
  - e) Pilhas de combustível com base em hidrogénio proveniente de microprodução renovável – percentagem prevista nas alíneas anteriores aplicável ao tipo de energia renovável utilizado para a produção do hidrogénio;
  - f) Combinação das fontes de energia previstas nas alíneas anteriores na mesma unidade – a média ponderada das percentagens individuais aplicáveis utilizando como factor de ponderação os limites máximos de energia aplicáveis nos termos previstos no n.º 6.
- 6) A electricidade vendida nos termos do número anterior é limitada a 2,4 MWh/ano, no caso da alínea a) do número anterior, e a 4 MWh/ano, no caso das restantes alíneas do mesmo número, por cada quilowatt instalado.
- 7) A potência de ligação registada no regime bonificado é sujeita a um limite anual.
- 8) O limite previsto no número anterior é de 10 MW no ano de entrada em vigor do presente decreto-lei, sendo aumentado, anual e sucessivamente, em 20%.

Com a entrada deste novo decreto-lei em vigor o Ministério da Economia estima que nos próximos 5 anos sejam instalados aproximadamente 100 mini-eólicas e 350 mil metros quadrados de painéis solares para aquecimento de águas.

Segundo uma projecção do centro Inteligência em Inovação (INTELI) [35], a aprovação deste novo enquadramento legislativo e fiscal para a microgeração, vem "abrir as portas à criação de um mercado potencial de mil milhões de euros", a que se juntam "outras oportunidades ligadas a instalações de produção de electricidade em pequena escala em piscinas, edifícios ou escolas". Por outro lado, acrescenta a INTELI, pode surgir ainda um conjunto de "serviços associados, incluindo auditorias energéticas e execução de medidas e implementação de soluções eficientes de climatização e ventilação".

Peças Lopes [35], do INESC Porto, por seu turno, crê, de modo "optimista" que, em 10 a 20 anos, 5% da electricidade consumida em Portugal se baseie na microgeração.

Já para Oliveira Fernandes [35], a associação dos os incentivos à utilização do solar térmico é a "decisão mais brilhante" do Ministério da Economia, depois da revisão em alta das metas para renováveis. Para o especialista em energia da Faculdade de Engenharia da Universidade da Porto, as condições de desenvolvimento desta fileira são "as melhores".

No que toca à APREN [36], esta congratula-se com a publicação deste Decreto-Lei, que, conjuntamente com as medidas propostas no sector no Orçamento Geral do Estado (OGE) de 2008, podem vir a virar mais uma página na história da electricidade em Portugal, em especial na de origem renovável. António Sá da Costa, presidente da APREN, considera estarem reunidas as condições para este mercado - que vê como "o futuro" - avançar, ainda que limitado a vivendas e, eventualmente, condomínios. De acordo com Sá da Costa [34], a instalação de painéis fotovoltaicos e térmicos permite às famílias ganhar 800 a 1200 euros "limpos"/ano já depois de paga a conta da luz, ajudando a amortizar o investimento.

Espera-se agora que o sector do fornecimento e montagem destes equipamentos e o sector financeiro se preparem para apresentar produtos que satisfaçam a procura do público, que tem dado mostras de grande interesse pela microprodução de electricidade.



## Capítulo 4

# Efeitos da Microgeração em redes de distribuição

### 4.1 - Introdução

A microgeração, produção de energia eléctrica através de instalações de pequena escala utilizando fontes renováveis de energia ou processos de conversão de elevada eficiência energética, tem na generalidade bastantes vantagens quer seja na vertente ambiental, quer seja nas redes de distribuição, quer no caso da co-geração.

No entanto, embora essas vantagens notadas nas mais diversas vertentes, neste capítulo dedicamo-nos apenas a analisar o impacto benéfico da Microgeração nas redes de distribuição.

Até aos dias de hoje, diversos estudos foram desenvolvidos procurando analisar o impacto da Microgeração em redes de distribuição, sendo que, de uma forma generalizada todos apontam para a seguinte conclusão: em termos globais a Microgeração contribui positivamente para a redução de perdas, para o aumento dos perfis de tensão e para a redução da percentagem de carga nos ramos.

De acordo com S.M. Silva et al. 2007 [37], o aumento da microgeração traz vantagens para a exploração das redes de distribuição. Segundo estes os valores de tensão aumentam linearmente com a microgeração. Por outro lado, as perdas activas, reactivas e energéticas diminuem com o aumento da produção distribuída.

P. Chiradeja et al. 2004 [38] concluem que a microgeração tem um papel importante na melhoria dos perfis de tensão da rede e na redução das perdas. Em P. Chiradeja et al. 2003 [39] os autores mostram que os perfis de tensão apresentam uma melhoria, nos casos em que a microgeração se encontra nas proximidades da carga.

T. Tran-Quoc et al. 2003 [40], verificaram que nas redes de baixa tensão quando a microgeração está mais distribuída pela rede os perfis de tensão e as restrições do carregamento nos ramos apresentam um menor impacto do que quando a microgeração é concentrada num pequeno número de barramentos.

Para J. Oyarzabal et al. 2005 [41], as perdas activas decrescem significativamente com o aumento da penetração de Microgeração. Os autores mostram que a percentagem de carga nos ramos pode ser reduzida significativamente se for considerada uma percentagem elevada de penetração de Microgeração na rede.

Apesar disso, existem estudos que demonstram que se as unidades de microgeração estiverem em localizações apropriadas podem levar a um impacto significativamente melhor na performance da rede de distribuição. Tal é comprovado, por exemplo, por T. Griffin et al. 2000 [42], G. Celli et al. 2001 [43] e M. Gandomkar et al. 2005 [44].

O problema de determinação da localização óptima de instalação das unidades de microgeração e do número óptimo de unidades que se devem considerar deve ter em conta a minimização das perdas e percentagem de carga nos ramos assim como a maximização da tensão nos barramentos.

O número de possibilidades para este problema é inúmero, apesar disso, deve-se correr o trânsito de potências para cada uma delas e analisar os valores dos índices de impacto das redes.

Para superar a complexidade deste problema, as técnicas de inteligência artificial são as ferramentas mais usadas na resolução de problemas de alocação óptima das unidades de microgeração.

M. Gandomkar et al. 2005 [44], referem que umas das possíveis técnicas de inteligência artificial que podem ser usadas são os algoritmos genéticos.

Nas secções seguintes simulam-se os efeitos globais em duas redes de distribuição distintas (Média Tensão Urbana, Média Tensão Semi-Urbana).

## 4.2 - Caracterização Geral das Redes Simuladas

A microgeração encontra-se normalmente associada à Baixa Tensão (BT), no entanto nos estudos realizados foram usadas redes de Média Tensão (MT). Os resultados obtidos não deixam de ser válidos uma vez que, de uma forma geral, os resultados obtidos para os dois tipos de redes são idênticos.

Nesta secção é então apresentada uma caracterização das redes de estudo usadas nas simulações apresentadas nas secções 4.3 a 4.7.

- A rede de MT Semi-Urbana dispõe de um único nó injector, no nó 190, de 15 kV que alimenta uma rede com configuração em anel aberto, compreendendo 115 nós carga. A rede tem uma carga típica de 6,142MW. A rede possui linhas aéreas e cabos subterrâneos. A rede possui boa capacidade de reconfiguração.
- A rede de MT urbana dispõe de um único injector de 15 kV, nó 983, que alimenta 3 redes distintas. A rede tem uma configuração radial e tem um total de 233 nós carga. A rede tem uma carga típica de 25,257MW. A rede possui linhas aéreas e cabos subterrâneos.

### 4.3 - Análise Geral dos Efeitos da Microgeração

Foi realizado um estudo onde foram analisados os efeitos da microgeração em redes de distribuição típicas.

A realização deste estudo preliminar deve-se à necessidade de se obter a caracterização do sistema numa situação base (testemunho), em que a microgeração varia de acordo com a carga e o nível de penetração estabelecido. A realização deste estudo permitiu também ganhar sensibilidade relativamente às alterações no estado do sistema, decorrentes da penetração da microgeração.

Foram realizadas simulações com duas redes diferentes (Média Tensão Semi-Urbana e Média Tensão Urbana) em diversos cenários de exploração: C140, C100, C90, C80, C50, C30 e C20 (Ver Tabela 4.1).

Para tal, foi adoptada uma metodologia caracterizada pela diminuição do valor da potência activa em alguns nós de cada uma das redes, onde se admite a existência de produção distribuída.

O impacto da microgeração foi avaliado tendo em conta as alterações induzidas nos perfis de tensão, nas perdas (activas e reactivas) e no carregamento dos ramos.

Para as situações de exploração mencionadas considerou-se apenas o cenário  $\text{tg}\Phi=0.4$  associado ao factor de potência nos nós de consumo. Decidiu-se considerar apenas este cenário pois, para além deste corresponder ao valor limite actual da energia reactiva, no estudo realizado por S.M. Silva et al. 2007 conclui-se que os resultados obtidos para diferentes cenários de factor de potência são similares.

Para cada uma das redes mencionadas considerou-se um conjunto de nós onde se admitiu a existência de microgeração.

Na rede MT Semi-Urbana considerou-se a existência de microgeração num conjunto de 24 nós. Já para a rede MT Urbana foram considerados dois cenários distintos: um cenário onde se

admite a existência de microgeração em 12 nós da rede (12 $\mu$ G); outro onde se admite a existência de microgeração em 25 nós da rede (25 $\mu$ G).

Relativamente às quantidades de potência geradas pelos microgeradores, para a rede MT Semi-Urbana foram simulados dois cenários distintos, um em que se admite que todos os microgeradores geram quantidades iguais, ou seja as potências são geradas homogeneamente ( $\mu$ G\_Hom.), outro onde se admite que os microgeradores não produzem homogeneamente mas sim de uma forma variável ( $\mu$ G\_Var.).

Uma vez que não seria de grande interesse repetir o estudo efectuado para a rede MT Semi-Urbana, na rede MT Urbana considerou-se que todos os microgeradores estão a gerar mesma quantidade de potência, isto é, a produção é feita homogeneamente.

Para cada situação de exploração e cenário analisou-se o comportamento do sistema relativamente à variação dos perfis de tensão, avaliação das perdas e análise do carregamento dos ramos.

A percentagem de microgeração (índice de penetração) foi determinada através do quociente entre a produção dos microgeradores e o valor da carga total na rede antes da introdução dos microgeradores.

Tabela 4.1 – Descrição de todos os cenários de exploração simulados

Cenário	Descrição
C140	A rede alimenta 140% da carga típica
C100	A rede alimenta a carga típica da rede
C90	A rede alimenta 90% da carga típica
C80	A rede alimenta 80% da carga típica
C50	A rede alimenta 50% da carga típica
C30	A rede alimenta 30% da carga típica
C20	A rede alimenta 20% da carga típica
12 $\mu$ G	Admite-se a existência de microgeração em 12 nós da rede
25 $\mu$ G	Admite-se a existência de microgeração em 25 nós da rede
$\mu$ G_Hom.	Os microgeradores estão a produzir iguais valores potência
$\mu$ G_Var.	Os microgeradores estão a produzir diferentes valores de potência

#### 4.4 - Descrição do Algoritmo e Cenários Simulados

**Dados:** As redes foram simuladas em diversos cenários de exploração. A rede MT Semi-Urbana foi simulada nos cenários 12 $\mu$ G e 25 $\mu$ G. Em cada um destes cenários foram simulados os cenários de carga: C140, C100, C90, C80, C50, C30 e C20. A rede MT Urbana foi simulada nos



cenários  $\mu G_{Hom.}$  e  $\mu G_{Var.}$ . Em cada um destes cenários foram simulados os cenários de carga: C140, C100, C90, C80, C50, C30 e C20.

Foi considerado um factor de potência  $\text{tg } \Phi = 0.4$  para todos os cenários de exploração.

**Algoritmo:**

- Para cada uma das situações descritas anteriormente:
  1. Correr o trânsito de potências usando o algoritmo de Newton-Raphson;
  2. Calcular o valor das perdas, da tensão em cada barramento e a percentagem de carga nos ramos;
  3. Calcular a carga total da rede.
- Para cada uma das situações descritas anteriormente:
  4. Consideração de diferentes valores de penetração da microgeração. Para isso, reduziu-se a Potência Activa de 0 a 100%<sup>3</sup> em todos os barramentos onde se admitiu existir microgeração. Estes barramentos encontram-se apresentados na Tabela.
  5. Correr o Newton-Raphson;
  6. Calcular o valor das perdas, da tensão em cada barramento e a percentagem de carga nos ramos;
  7. Calcular a carga total da rede.
- O cálculo do valor da percentagem de microgeração, resultante da redução de Potência Activa nos barramentos referidos através, foi feito o quociente entre a variação da carga que existe na rede antes e depois de efectuar a redução de Potência Activa e o valor da carga antes de efectuar a redução de Potência Activa.

Tabela 4.2 – Barramentos das Redes MT onde foi simulada a existência de microgeração

Rede	Cenário	Nº. dos Barramentos com microgeração
Média Tensão Semi-Urbana	$\mu G_{Hom.}$ e $\mu G_{Var.}$	2045, 2070, 2080, 2100, 2095, 2075, 2085, 2060, 2114, 2050, 2065, 2090, 2110, 2025, 2105, 2020, 2015, 2035, 2010, 2000, 2005, 2055, 2040, 2030
Média Tensão Urbana	12 $\mu G$	977, 598, 508, 94, 548, 551, 666, 235, 667, 564, 640 e 693
	25 $\mu G$	640, 977, 666, 94, 630, 235, 564, 504, 941, 548, 141, 551, 659, 982, 693, 598, 634, 669, 649, 206, 54, 532, 667, 511, 508

<sup>3</sup> Embora níveis de penetração de 100% não sejam perspectiváveis a médio prazo, optou-se por considerar esta possibilidade para efeitos de estudo.

Nas secções seguintes, são apresentados os gráficos obtidos para os índices de qualidade (perfis de tensão, perdas activas e reactivas e percentagem de carga nos ramos) das redes analisadas utilizando o cenários anteriormente referidos.

## 4.5 - Resultados das simulações efectuadas

Nesta secção são apresentados os resultados das simulações efectuadas.

Os resultados obtidos mostram que o aumento até um determinado valor de penetração da microgeração traz vantagens para a exploração dos sistemas de distribuição.

Verifica-se que a tensão nos nós da rede sofre melhoramentos significativos, tornando-se mais homogénea à medida que aumenta a penetração de microgeração. No entanto, valores muito altos da microgeração podem ter efeitos negativos nos perfis de tensão uma vez que estes podem ultrapassar os limites máximos admitidos.

No que respeita aos valores das perdas activas e reactivas verifica-se que estas diminuem com o incremento da microgeração até um valor de penetração da ordem dos 45-55%. Após este valor as perdas activas e reactivas aumentam.

Por outro lado, verifica-se que a percentagem de carga nos ramos da rede diminui com a microgeração. No entanto este resultado não se pode generalizar a todos os ramos da rede pois depende fortemente da localização da microgeração em relação a cada ramo.

Nas secções seguintes apresentam-se estes resultados em detalhe.

### 4.5.1 - Perfis de Tensão

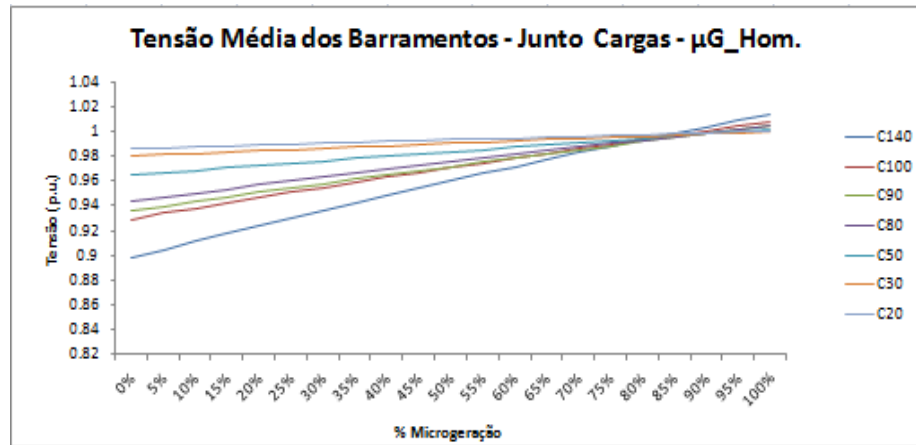
Na presente secção apresentam-se, graficamente, os valores da tensão em função da microgeração.

Devido à enorme dimensão de resultados optou-se por só apresentar resultados para alguns casos. Assim, para cada uma das redes, só são apresentados os resultados obtidos para a tensão média nos barramentos, um barramento com tensão próxima da tensão média (Barramentos nº78 para Rede MT Semi-Urbana e nº671 para Rede MT Urbana) e um barramento onde se verifique uma grande variação da tensão (Barramentos nº 2025 para Rede MT Semi-Urbana e nº598 para Rede MT Urbana).

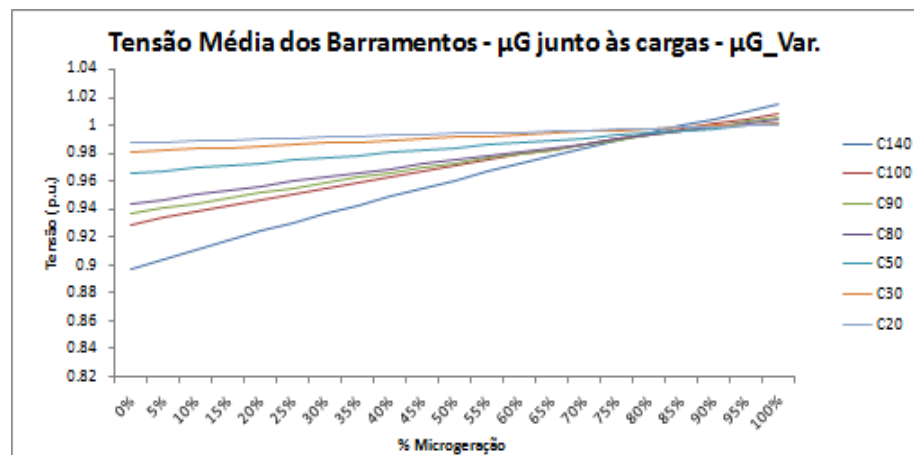
Verifica-se que os valores de tensão aumentam com o aumento da penetração da microgeração nas redes. Este aumento dos valores de tensão verifica-se pois quanto menor for o consumo de energia mais elevados são os valores de tensão em cada um dos barramentos.

Verifica-se para ambas as redes (Média Tensão Semi-Urbana e Urbana) que quanto maior é a carga que a rede alimenta, maior é a magnitude da variação que a tensão nos

barramentos sofre com o incremento da microgeração. Assim, relativamente à magnitude da variação da tensão, as curvas referentes às cargas aparecem na seguinte ordem C140, C100, C90, C80, C50, C30, C20, da maior para a menor.

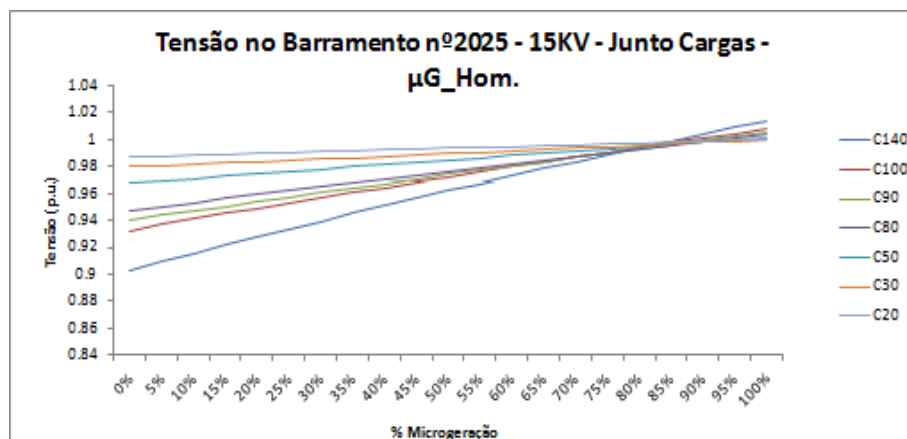


**Figura 4.1** - Rede MT Semi-Urbana - Variação da tensão média em função da microgeração - microgeradores produzir homoganeamente

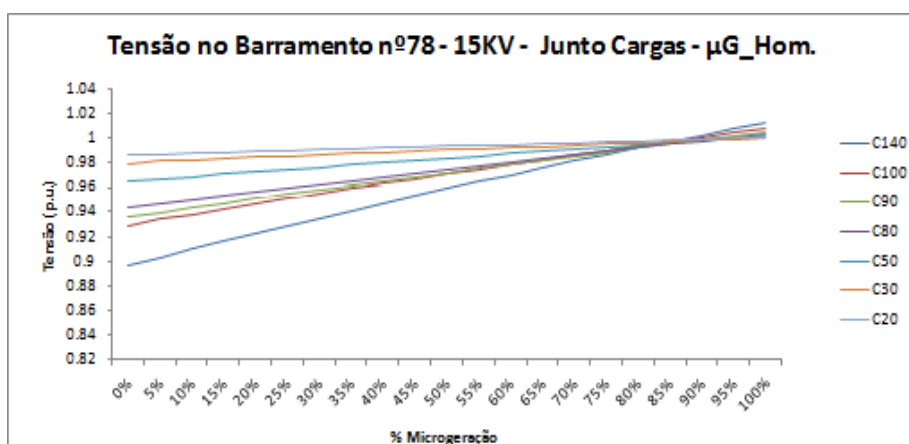


**Figura 4.2** - Rede MT Semi-Urbana - Variação da tensão média em função da microgeração - microgeradores produzir variavelmente

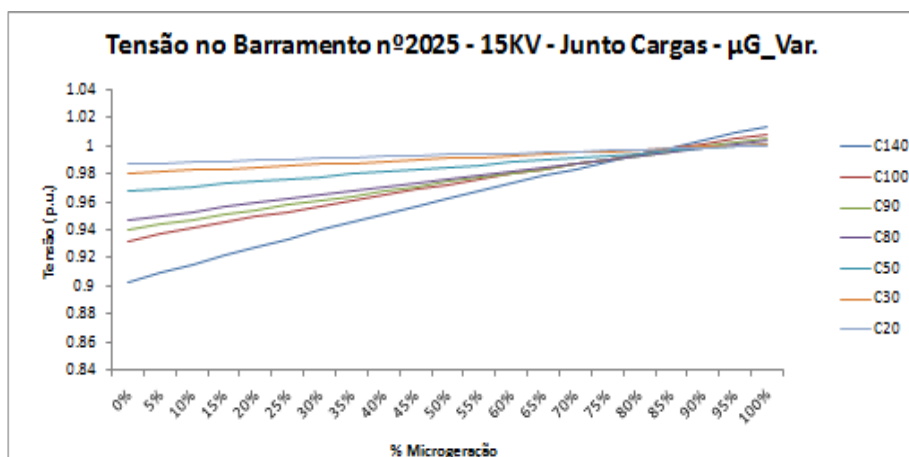
Analisando a rede MT Semi-Urbana, verifica-se que, para penetrações até 50%, a tensão média dos barramentos sofre variações sempre abaixo dos 5% em todos os cenários de carga estudados. Considerando percentagens de penetração acima dos 80%, no cenário de carga C140 é verificada uma variação acima dos 10% da tensão média dos barramentos, indicando que para esta penetração os efeitos induzidos nas tensões começam a ser negativos.



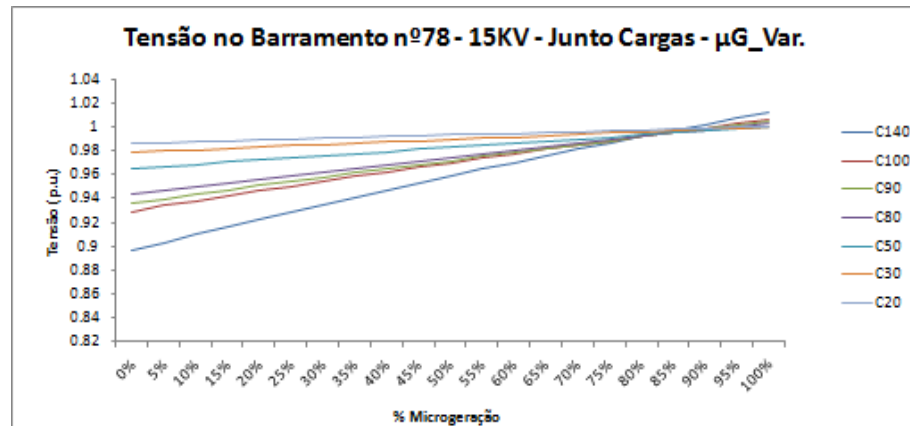
**Figura 4.3** - Rede MT Semi-Urbana - Variação da tensão no barramento nº 2025 em função da microgeração - microgeradores produzir homogeneamente



**Figura 4.4** - Rede MT Semi-Urbana - Variação da tensão no barramento nº 78 em função da microgeração - microgeradores produzir homogeneamente.

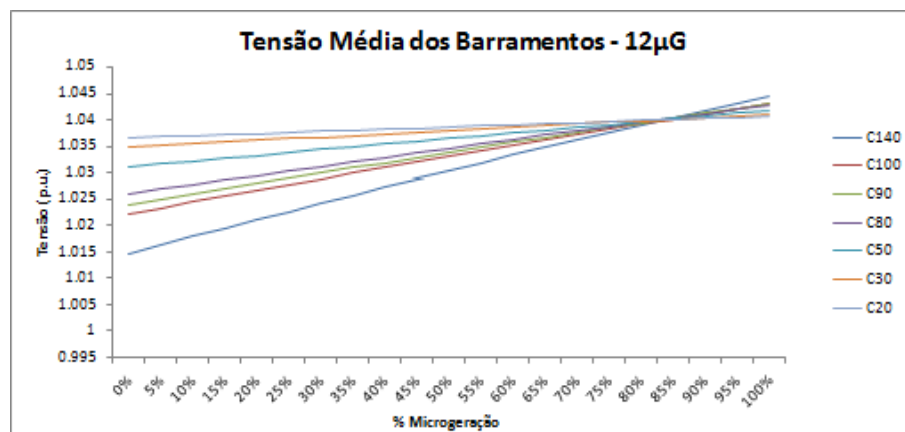


**Figura 4.5** - Rede MT Semi-Urbana - Variação da tensão no barramento nº 2025 em função da microgeração - microgeradores produzir variavelmente.

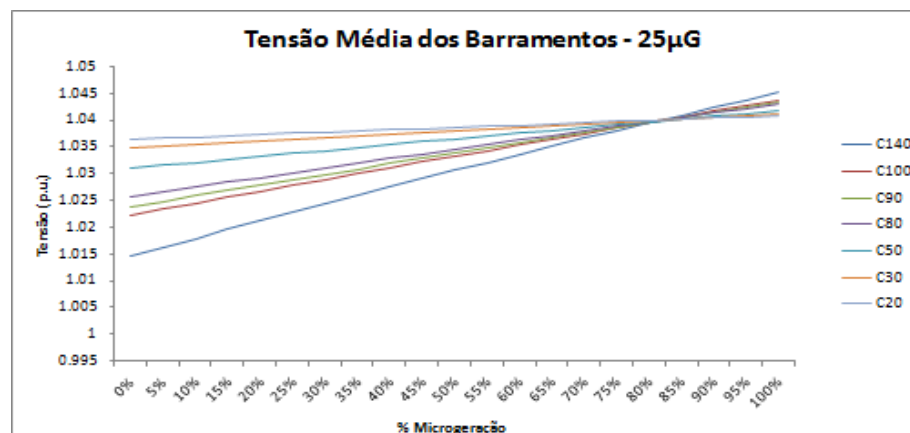


**Figura 4.6** - Rede MT Semi-Urbana - Variação da tensão no barramento nº 78 em função da microgeração - microgeradores produzir variavelmente.

Os resultados obtidos para os barramentos nº2025 e nº78 são similares aos resultados obtidos para a tensão média dos barramentos.

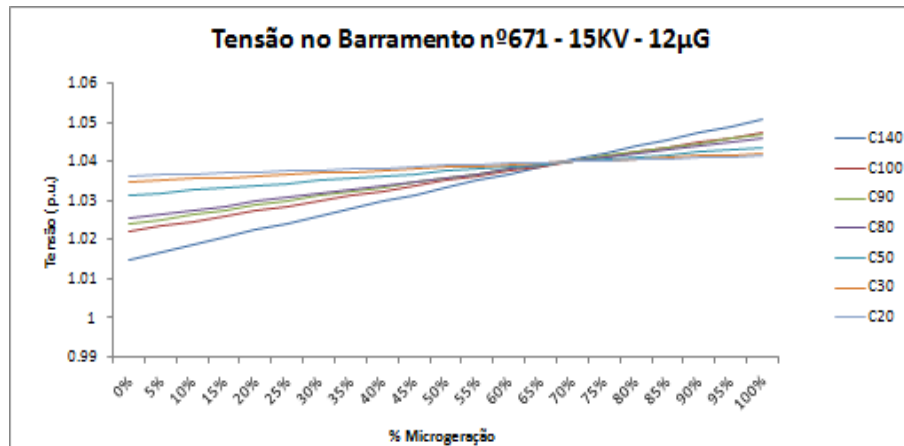


**Figura 4.7** - Rede MT Urbana - Variação da tensão média em função da microgeração - Cenário com microgeração em 12 barramentos

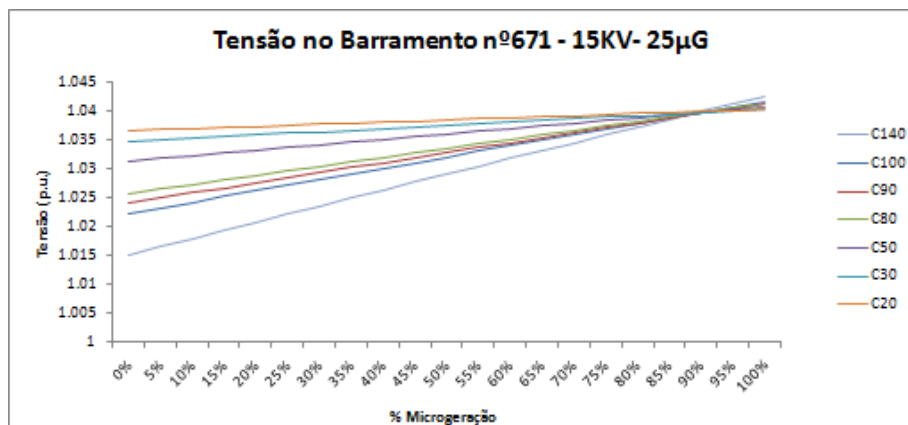


**Figura 4.8** - Rede MT Urbana - Variação da tensão média em função da microgeração - Cenário com microgeração em 25 barramentos

Para a rede MT Urbana verifica-se que a variação sofrida pela tensão média dos barramentos é aceitável para todos os cenários de carga (C140, C100, C90, C80, C50, C30 e C20) mesmo em casos extremos de microgeração (penetração superior a 85%) uma vez que nunca ultrapassa um valor de 5%. Para o cenário de carga mais desfavorável (C140) com 50% de penetração a tensão sofre uma variação na ordem dos 2-3%. No caso de se atingir uma penetração total (de 100%), cenário obviamente não perspectivável a curto prazo, verifica-se que variação da tensão fica abaixo dos 6%.

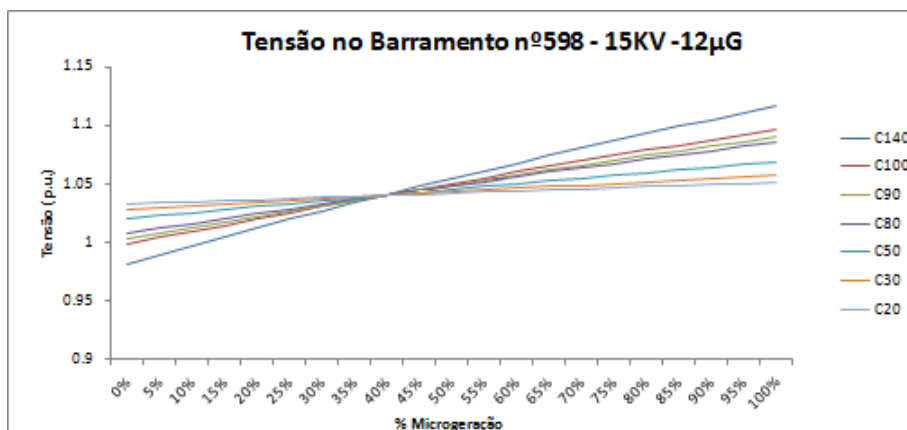


**Figura 4.9** - Rede MT Urbana - Variação da tensão no barramento nº 671 em função da microgeração - Cenário com microgeração em 12 barramentos

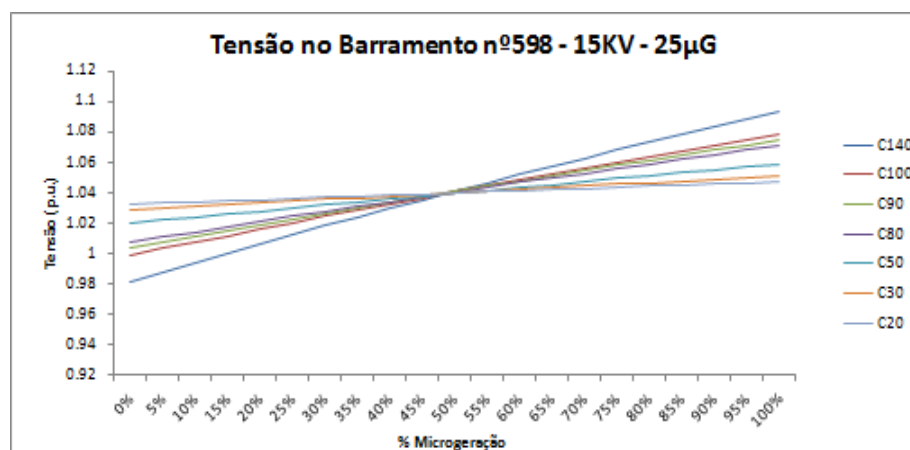


**Figura 4.10** - Rede MT Urbana - Variação da tensão no barramento nº 671 em função da microgeração - Cenário com microgeração em 25 barramentos

Os resultados para o barramento nº671 são similares aos resultados obtidos para a tensão média dos barramentos.



**Figura 4.11** - Rede MT Urbana - Variação da tensão no barramento nº 598 em função da microgeração - Cenário com microgeração em 12 barramentos



**Figura 4.12** - Rede MT Urbana - Variação da tensão no barramento nº 598 em função da microgeração - Cenário com microgeração em 25 barramentos.

Relativamente ao barramento nº598 verifica-se este também não sofre grandes variações de tensão para os cenários de menor carga. Analisando o cenário onde a rede se encontra a alimentar valores de carga típicos (C100) verifica-se que é possível obter uma penetração na ordem dos 70% sem se atingir uma variação de tensão superior a 5%.

No entanto, na situação em que a rede se encontra a alimentar uma carga superior à típica (C140), para 50% de penetração deparamo-nos com uma variação de tensão na ordem dos 8%.

Cruzando toda a informação pode-se afirmar que, até valores de penetração de 50 a 60%, a microgeração traz melhoramentos significativos às tensões da rede. O valor até ao qual a microgeração traz benefícios à rede varia ligeiramente de rede para rede pois depende das características desta. Embora a tensão média dos barramentos não sofra geralmente uma variação de grande amplitude é necessário ter em atenção o facto de em alguns barramentos poderem ocorrer grandes variações de tensão.

### 4.5.2 - Impacto nas Perdas

Nas seguintes secções é possível verificar que até cerca de 50% de penetração da microgeração nas redes de distribuição os valores das perdas diminuem à medida que se aumenta a microgeração.

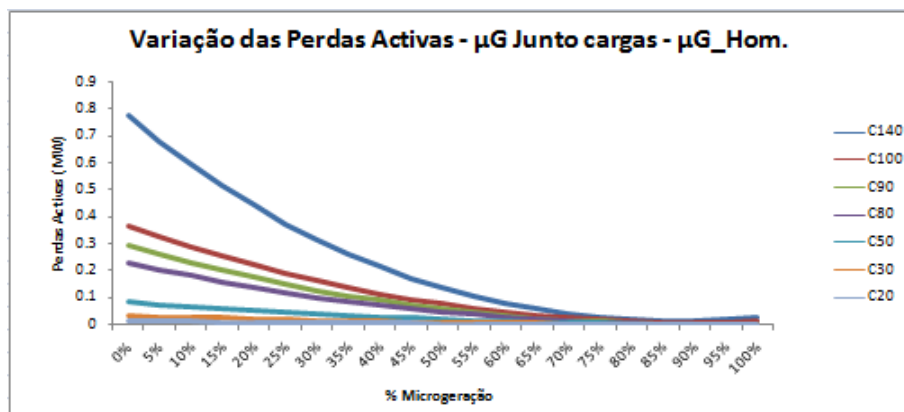
#### 4.5.2.1 - Perdas Activas

Os gráficos revelam que os valores das Perdas Activas diminuem à medida que se aumenta a microgeração.

Esta diminuição dos valores das Perdas Activas verifica-se pois quanto menor for o consumo de energia mais reduzidos são os valores das perdas em cada uma das linhas.

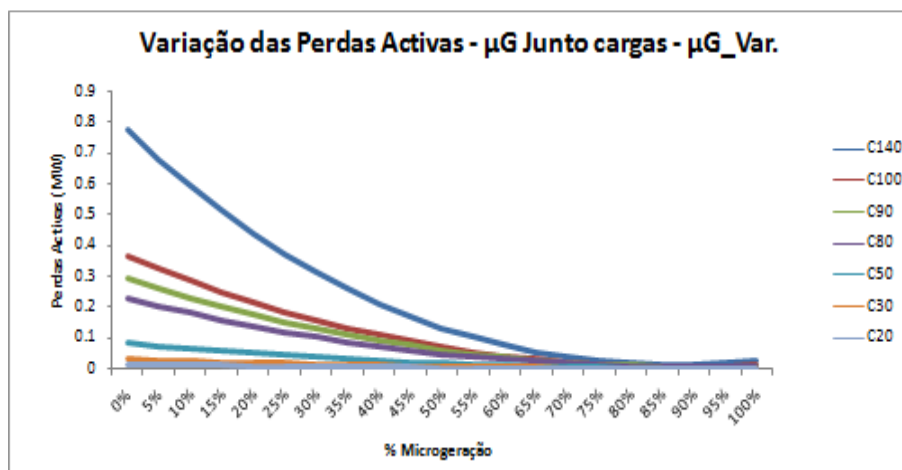
Por outro lado, esta diminuição das perdas activas pode se explicada pelo facto de a microgeração se encontrar normalmente situada perto das zonas de consumo (cargas). Desta forma, as potências provenientes dos microgeradores são consumidas localmente reduzindo-se a circulação das correntes a um número reduzido de linhas e consequentemente as Perdas Activas. Da mesma forma, um aumento da microgeração implica uma redução da potência proveniente da injeção e, como tal, uma redução dos valores das correntes que circulam na maioria dos ramos da rede. Esta redução do valor das correntes nos ramos contribui assim para a redução das Perdas Activas pois, como se sabe, quanto menor forem as correntes que circulam nas linhas menores serão as Perdas Activas nas mesmas.

No entanto, para valores muito elevados de penetração (tipicamente acima dos 50%) verifica-se que as Perdas Activas aumentam podendo mesmo ultrapassar os valores atingidos na ausência de microgeração. Tal fenómeno é facilmente explicado pelo facto de, para elevados valores de penetração, as potências provenientes dos microgeradores serem superiores às necessidades de consumo locais e assim estas terem de ser consumidas noutros pontos da rede. Esta necessidade faz com que o número de ramos onde circulam correntes aumente, aumentando consequentemente as Perdas Activas.



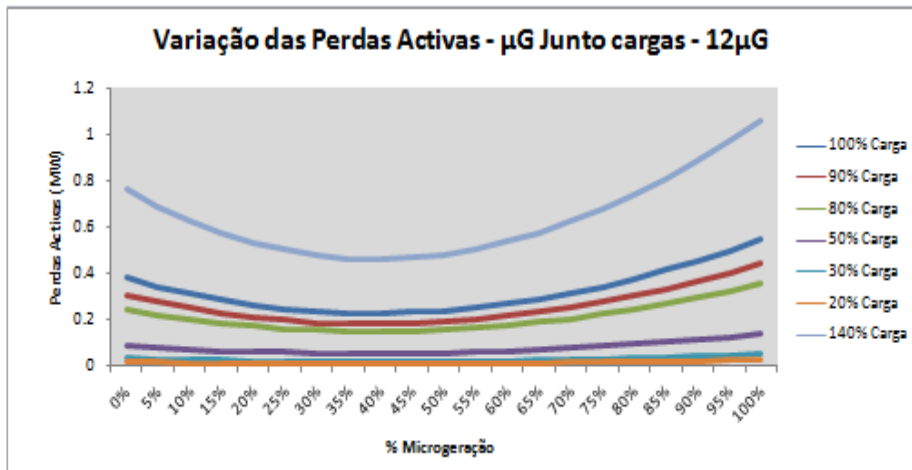
**Figura 4.13** - Rede MT Semi-Urbana - Variação das Perdas Activas em função da microgeração - microgeradores produzir homogeneamente.



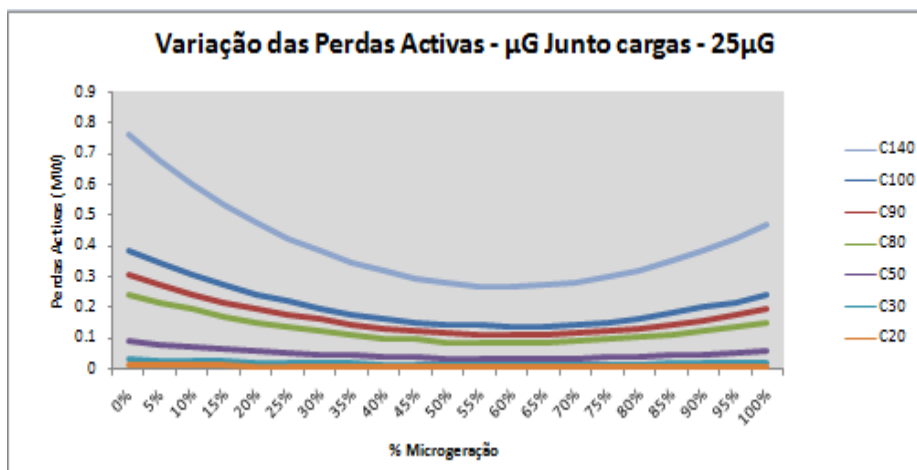


**Figura 4.14** - Rede MT Semi-Urbana - Variação das Perdas Activas em função da microgeração - microgeradores produzir variavelmente.

Para a rede MT Semi-Urbana é possível verificar que, mesmo para valores de penetração considerados muito altos, acima dos 60%, as Perdas Activas continuam a diminuir, não existindo qualquer inversão no sentido de crescimento das perdas. Verifica-se que a microgeração nesta rede tem, ao nível de Perdas Activas, um impacto muito forte. No entanto pode-se afirmar que estes resultados são “demasiado benéficos” não estando claramente dentro dos resultados tipicamente obtidos. Tais resultados podem ser explicados pelo facto de a rede MT Semi-Urbana em estudo ter alguns ramos muito compridos, junto à injeção, aos quais estão associados enormes valores de resistência. Assim, para baixos valores de percentagem de microgeração na rede, praticamente toda a corrente passa por estes ramos disparando consequentemente o valor das Perdas Activas. Embora o aumento da microgeração faça, por um lado com que a potência proveniente da injeção diminua, diminuindo as correntes que percorrem estes ramos e assim as Perdas Activas, e por outro lado que as correntes passem a circular em ramos próximos das cargas que por natureza têm valores de resistência maiores que os restantes ramos da rede, a existência destes ramos muito compridos faz com que nunca se assista a um aumento das Perdas Activas.



**Figura 4.15** - Rede MT Urbana - Variação das Perdas Activas em função da microgeração - Cenário com microgeração em 12 barramentos



**Figura 4.16** - Rede MT Urbana - Variação das Perdas Activas em função da GD - Cenário com microgeração em 25 barramentos

Em relação à rede MT Urbana verifica-se que até um valor de 45% de penetração as Perdas Activas diminuem com a microgeração. Contudo, acima dos 50% de penetração as Perdas Activas aumentam podendo mesmo ultrapassar o seu valor inicial (valor das perdas na ausência de microgeração). Este aumento é resultado do facto de, para elevados valores de penetração da microgeração as potências produzidas serem superiores às cargas consumidas, provocando uma inversão do sentido da corrente que passa a circular nos ramos próximos dos pontos de consumo que, por terem geralmente valores de resistências maiores que o resto dos ramos da rede, provocam um aumento das Perdas Activas.

Verifica-se também que para as duas redes em estudo as curvas referentes aos cenários de exploração C140, C100, C90, C80, C50, C30 e C20 ocorrem nesta ordem de aumento de Perdas Activas. Assim percebe-se que quanto maior forem as cargas a alimentar pela rede maiores serão as perdas existentes nas redes.

Em jeito de conclusão pode então afirmar-se que, salva raras excepções, até cerca de 50% de penetração na rede, a microgeração é vantajosa para as redes pois contribui activamente para a redução das Perdas Activas. Para valores acima deste limite a presença de microgeração traz desvantagens associadas visto que contribui para um aumento das Perdas Activas.

As vantagens resultantes da integração de microgeração dependem das características das redes.

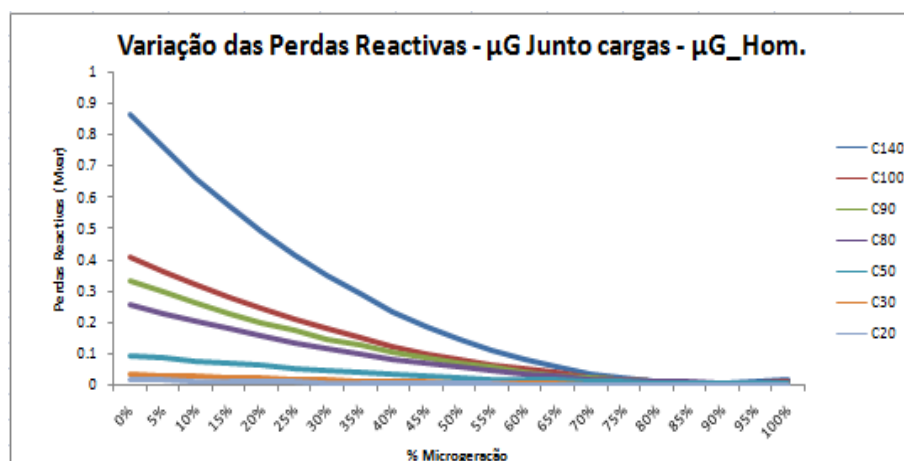
#### 4.5.2.2 - Perdas Reactivas

Verifica-se que os resultados obtidos para as Perdas Reactivas são muito similares aos resultados obtidos para as Perdas Activas, embora as Perdas Reactivas atinjam valores globalmente superiores.

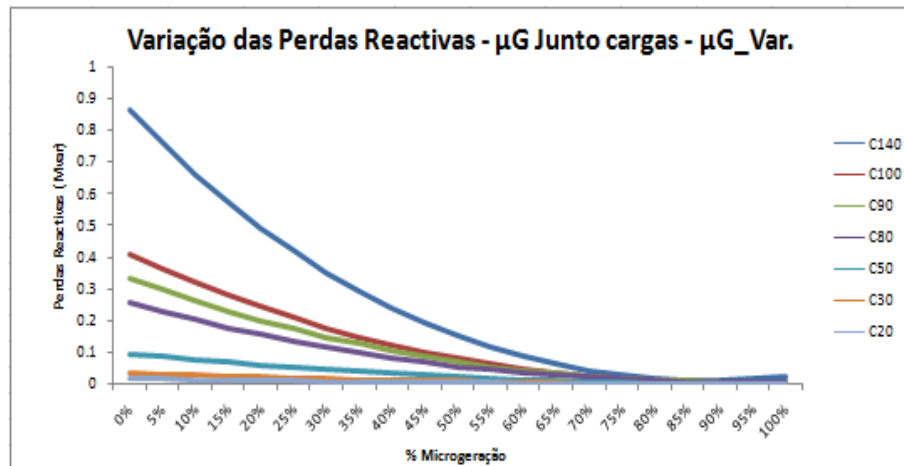
Assim, os gráficos revelam que os valores das Perdas Reactivas diminuem à medida que se aumenta a microgeração. Este facto, é verificado porque quanto menor for o consumo de energia menores são os valores das Perdas Reactivas nas linhas.

Tal como para as Perdas Activas, nas Perdas Reactivas a diminuição é explicada em muito pelo facto de a microgeração se encontrar situada perto das zonas de consumo, diminuindo as correntes que circulam nos ramos da rede. Esta redução do valor das correntes contribui assim para a redução das Perdas Reactivas pois as estas variam quadraticamente com o valor correntes nas linhas.

Verifica-se que para valores de penetração da microgeração acima dos 50% as Perdas Reactivas, salvo raras excepções, aumentam atingindo, em casos extremos de penetração, valores iguais ou superiores aos que seriam obtidos sem microgeração.

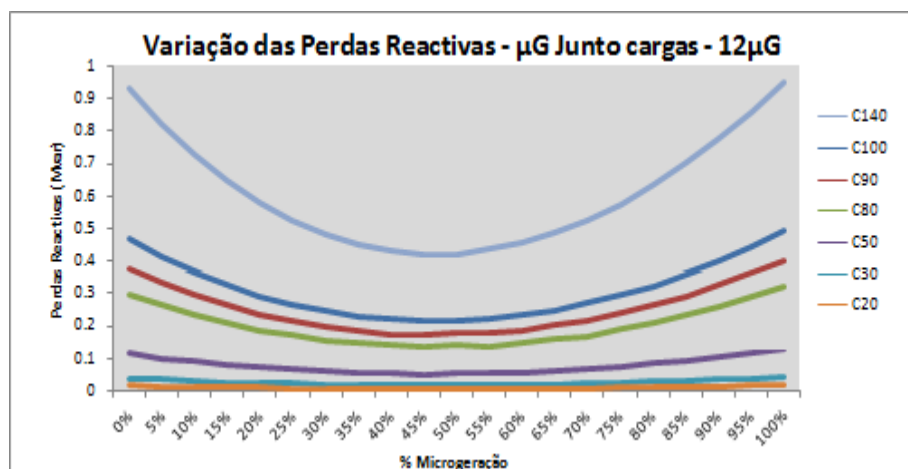


**Figura 4.17** - Rede MT Semi-Urbana - Variação das Perdas Reactivas em função da microgeração - microgeradores produzir homogeneamente.

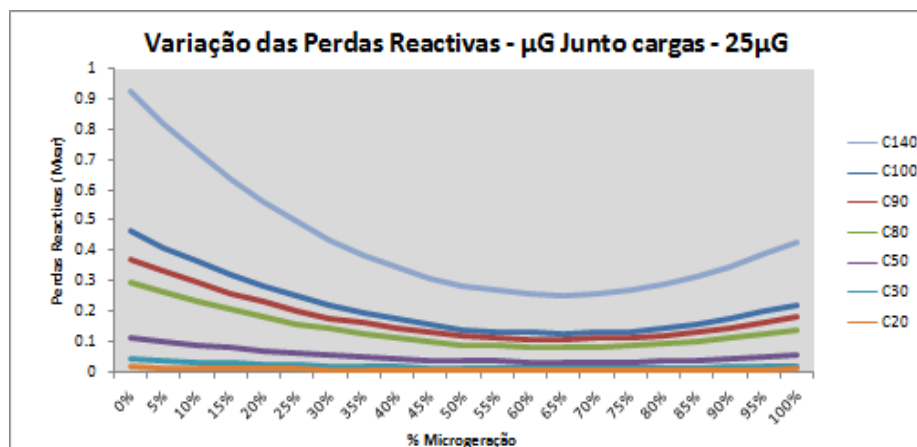


**Figura 4.18** - Rede MT Semi-Urbana - Variação das Perdas Reactivas em função da microgeração - microgeradores produzir variavelmente.

No caso da rede MT Semi-Urbana os resultados atingidos são atípicos já que, mesmo para valores de penetração acima dos 50% as Perdas Reactivas continuam a diminuir. Esta situação é explicada pela existência de alguns ramos com valores muito elevados de reactância situados, junto ao ponto de injeção de potência na rede, que são os responsáveis pela maioria das Perdas Reactivas na rede.



**Figura 4.19** - Rede MT Urbana - Variação das Perdas Reactivas em função da microgeração - Cenário com microgeração em 12 barramentos.



**Figura 4.20** - Rede MT Urbana - Variação das Perdas Reactivas em função da microgeração - Cenário de microgeração em 25 barramentos

Em relação à rede MT Urbana verifica-se que até 45% de penetração as Perdas Reactivas diminuem com a microgeração. No entanto, para valores acima dos 50% de penetração, as Perdas Reactivas nesta rede aumentam.

Para as duas redes em estudo as curvas referentes aos cenários de exploração C140, C100, C90, C80, C50, C30 e C20 ocorrem nesta ordem de aumento de Perdas Reactivas, portanto, quanto maiores forem as cargas a alimentar pela rede maiores serão as perdas existentes nas redes.

Em jeito de finalização pode-se então afirmar que a presença de microgeração é vantajosa para as redes pois contribui activamente para a redução das Perdas Reactivas. Porém esta só é vantajosa até cerca de 50% de penetração na rede visto que, para valores acima deste limite, as Perdas Reactivas aumentam.

As vantagens resultantes da integração de microgeração dependem das características das redes.

#### 4.5.3 - Impacto no Carregamento dos Ramos

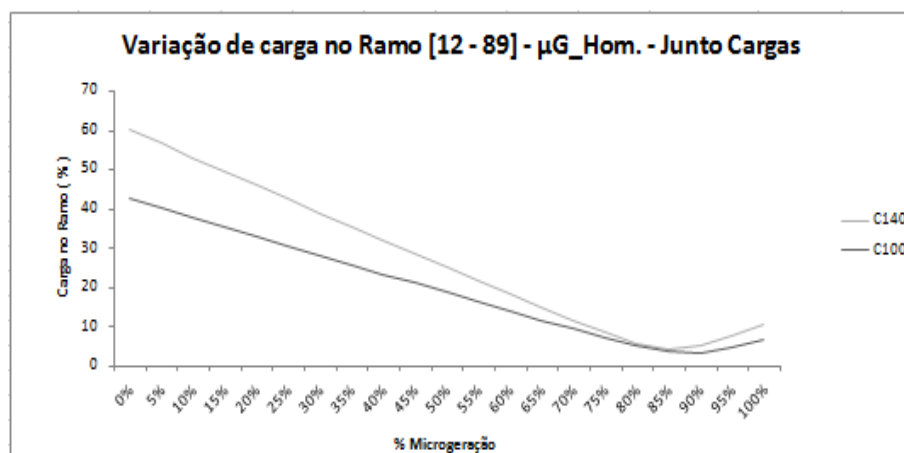
Verifica-se que na grande maioria dos casos o aumento da microgeração provoca uma diminuição das cargas nos ramos. No entanto, um aumento do valor de microgeração não implica obrigatoriamente uma redução na percentagem de carga dos ramos.

Para cada rede são analisados os ramos que apresentam uma percentagem de carga mais elevada sem microgeração. Para além destes, para cada uma das redes, decidiu-se também analisar o efeito que a microgeração tem sobre ramos localizados em diferentes posições da rede: ramos localizados juntos à injeção, ramos situados juntos a microgeradores e em ramos situados numa posição intermédia da rede. Os casos especiais, ou seja, os casos onde os limites máximos de capacidades dos ramos foram ultrapassados, também são analisados.

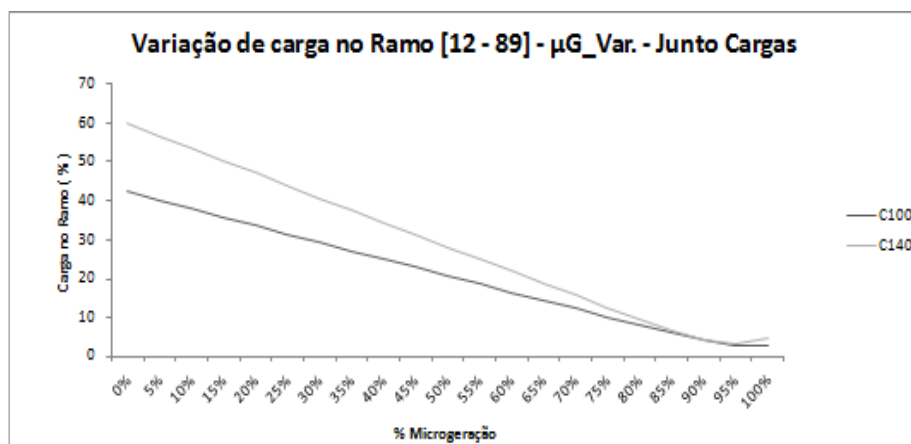
A Tabela 4.3 indica os ramos analisados para cada uma das redes simuladas.

Tabela 4.3 – Ramos analisados para cada uma das redes simuladas

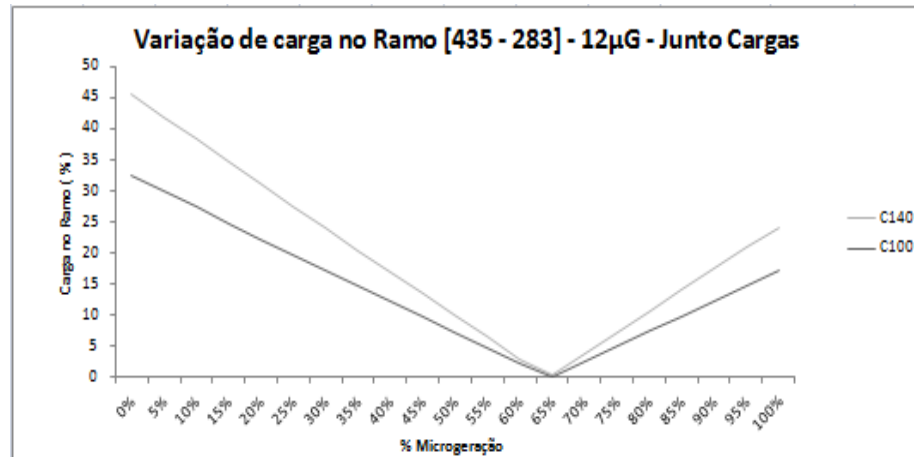
Rede	Ramos Seleccionados	Observação / Posição Ramo na Rede
Média Tensão Semi-Urbana	4 - 194	Caso Especial / Junto da Injecção
	2085 - 133	Junto a Barramento com Microgerador
	12 - 89	Posição Intermédia
Média Tensão Urbana	598 - 779	Junto Barramento com Microgerador
	8 - 10	Junto da Injecção
	778 - 329	Caso Especial
	435 - 283	Posição Intermédia
	508 - 329	Caso Especial



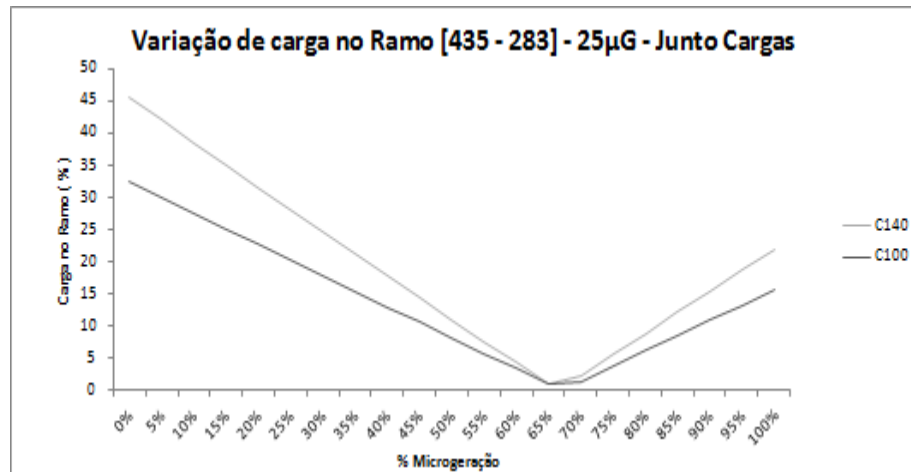
**Figura 4.21** - Rede MT Semi-Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (12-89) em função da microgeração - microgeradores produzir homogeneamente.



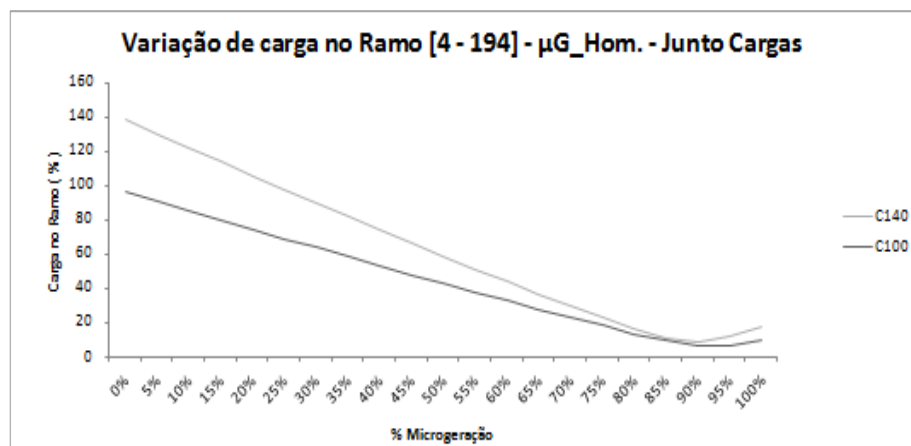
**Figura 4.22** - Rede MT Semi-Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (12-89) em função da microgeração - microgeradores produzir variavelmente.



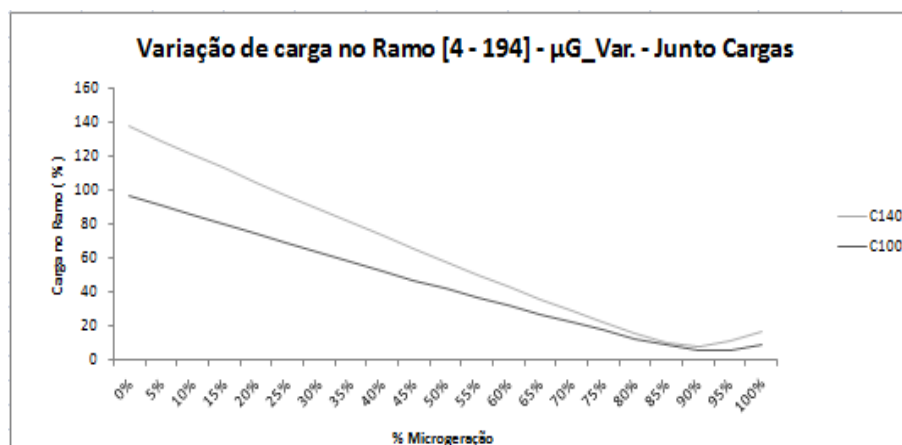
**Figura 4.23** - Rede MT Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (435-283) em função da microgeração - Cenário com microgeração em 12 barramentos.



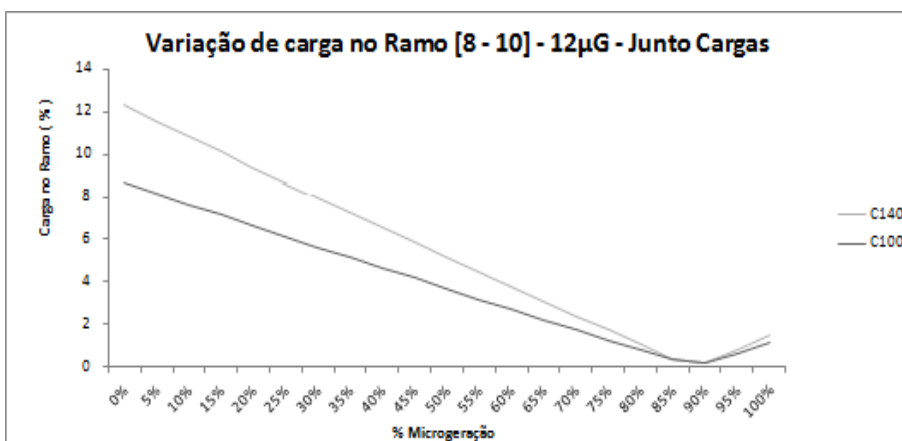
**Figura 4.24** - Rede MT Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (435-283) em função da microgeração - Cenário com microgeração em 25 barramentos.



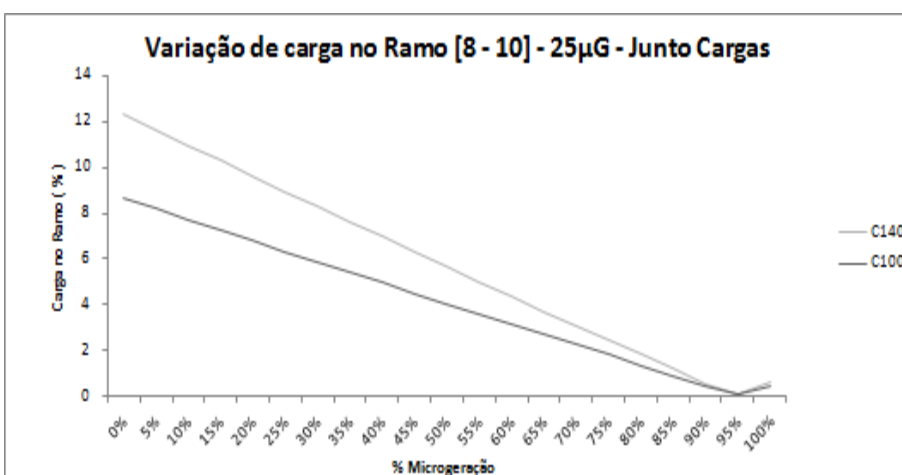
**Figura 4.25** - Rede MT Semi-Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (4-194) em função da microgeração - microgeradores produzindo homogeneamente.



**Figura 4.26** - Rede MT Semi-Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (4-194) em função da microgeração - microgeradores produzir variavelmente.



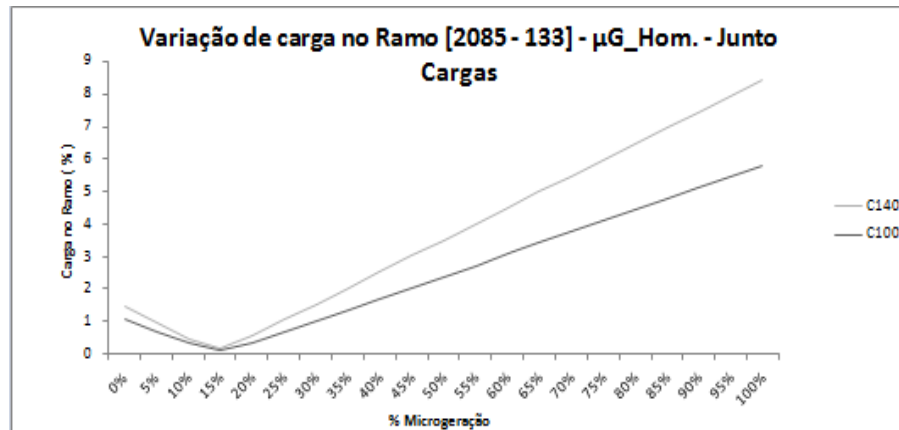
**Figura 4.27** - Rede MT Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (8-10) em função da microgeração - Cenário com microgeração em 12 barramentos.



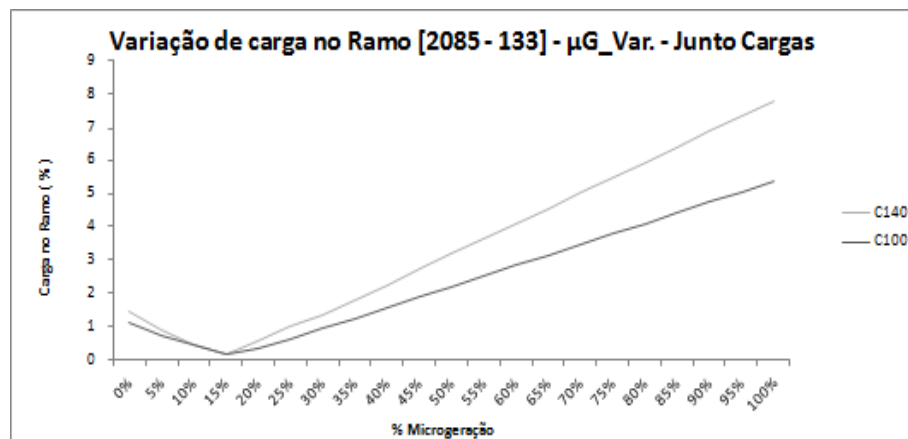
**Figura 4.28** - Rede MT Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (8-10) em função da microgeração - Cenário com microgeração em 25 barramentos.



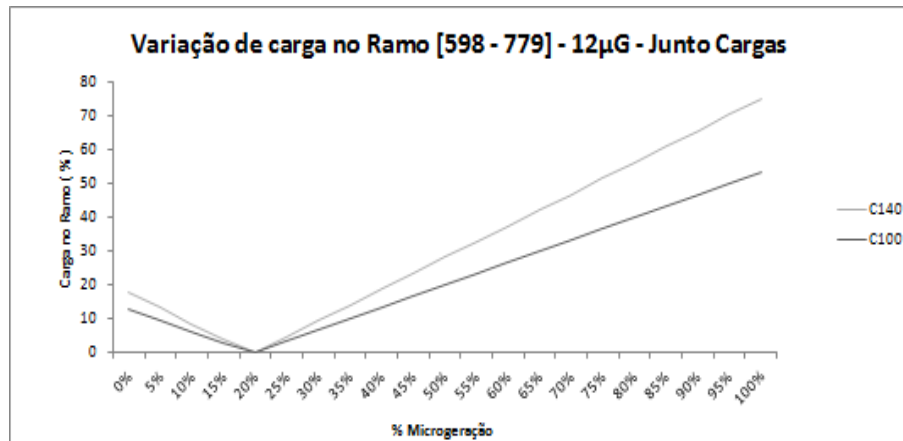
Para os ramos situados em posições intermédias (Ramos 12-89 da Rede MT Semi-Urbana e 435-283 da Rede MT Urbana) e junto à injeção (Ramos 4-194 da Rede MT Semi-Urbana e 8-10 da Rede MT Urbana), é possível observar que à medida que a microgeração aumenta a percentagem de carga ramos diminui. Para situações de extrema presença de microgeração os ramos apresentam valores de percentagem de carga bastante baixos. A diminuição da percentagem da carga nestes ramos deve-se ao facto de com o aumento da microgeração se diminuir a potência proveniente da injeção.



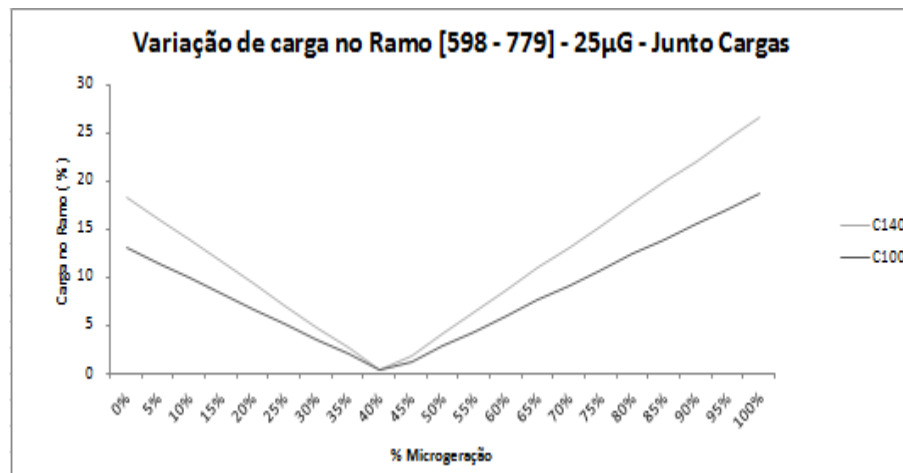
**Figura 4.29** - Rede MT Semi-Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (2085-133) em função da microgeração - microgeradores produzirem homoganeamente.



**Figura 4.30** - Rede MT Semi-Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (2085-133) em função da microgeração - microgeradores produzirem variavelmente.

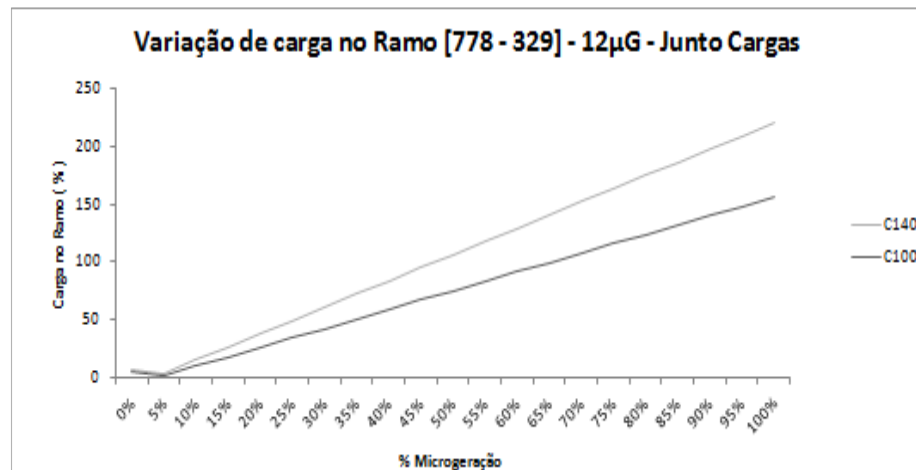


**Figura 4.31** - Rede MT Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (598-779) em função da microgeração - Cenário com microgeração em 12 barramentos.

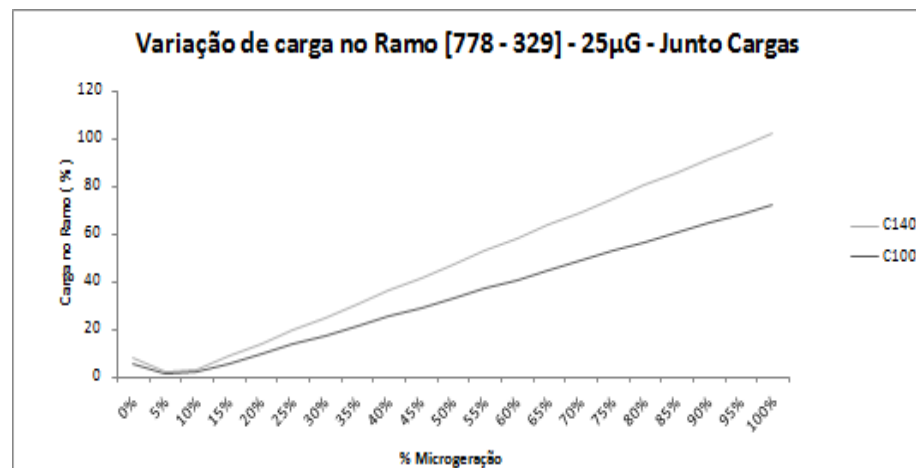


**Figura 4.32** - Rede MT Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (598-779) em função da microgeração - Cenário com microgeração em 25 barramentos.

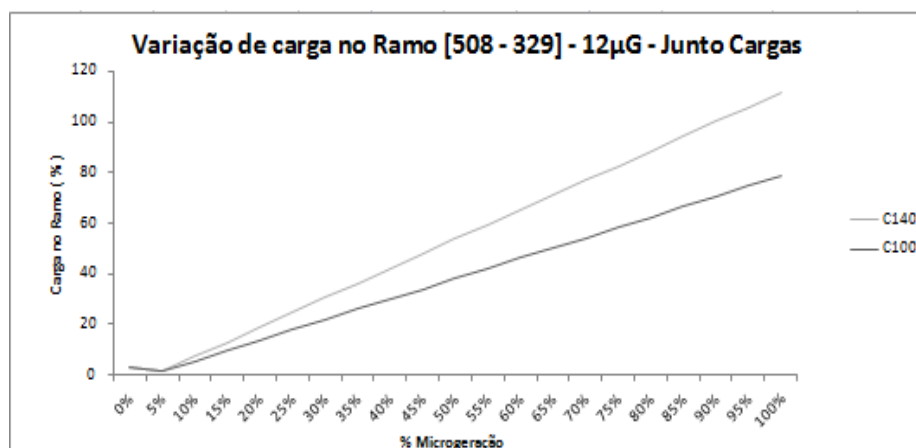
Para os ramos situados próximos de barramentos com microgeração (Ramos 2085-133 da Rede MT Semi-Urbana e 598-779 da Rede MT Urbana) embora a o aumento de microgeração tenha inicialmente um efeito positivo, verifica-se que a partir de valores de penetração na ordem dos 15 a 20% a percentagem de carga nos ramos aumenta rapidamente podendo elevadas percentagens de carga ser atingidas em situações de extrema penetração (acima dos 50%). Uma vez que um aumento da penetração da microgeração implica um aumento das potências geradas pelos microgeradores e consequentemente das correntes nas linhas situadas nas proximidades, fica explicada razão do aumento das percentagens de carga nestes ramos.



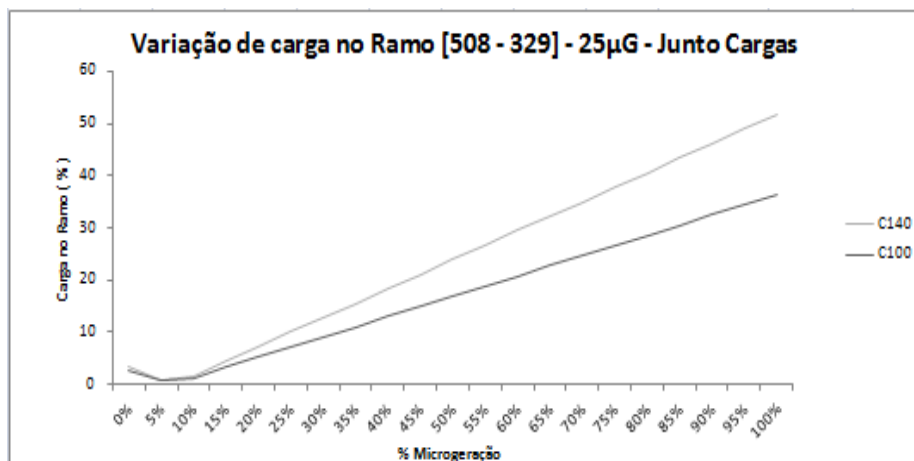
**Figura 4.33** - Rede MT Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (778-329) em função da microgeração - Cenário com microgeração em 12 barramentos.



**Figura 4.34** - Rede MT Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (778-329) em função da microgeração - Cenário com microgeração em 25 barramentos.



**Figura 4.35** - Rede MT Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (508-329) em função da microgeração - Cenário com microgeração em 12 barramentos.



**Figura 4.36** - Rede MT Urbana - Variação da percentagem de carga no ramo (508-329) em função da microgeração - Cenário com microgeração em 25 barramentos.

Nos casos especiais apresentados (Ramos 778-329, 508-329 e 4-194 ) verifica-se que para valores de penetração extremos a microgeração pode trazer problemas para os ramos. Contudo para um valor de 50% de penetração na rede a microgeração não traz qualquer problema para o bom funcionamento dos ramos, podendo até ser benéfica.

Verifica-se que nas redes de Media Tensão estudadas (Urbana e Semi-Urbana) as curvas da percentagem de carga nos ramos aumentam pela seguinte ordem: C100 e C140.

Finalizando, podemos afirmar que, à excepção dos ramos existentes nas proximidades de microgeradores, um aumento da microgeração contribui para uma redução da carga nos ramos das redes de distribuição.

## 4.6 - Efeitos da Localização da Microgeração

O objectivo desta secção é analisar o impacto que a localização da microgeração numa rede de distribuição de energia tem nos índices de qualidade da rede, nomeadamente nas perdas, na tensão e no carregamento dos ramos. Para isso, simularam-se vários cenários exploratórios para as redes de Média Tensão Semi-Urbana e Urbana sendo eles: C140, C100, C90, C80, C50, C30, C20.

A localização dos barramentos com microgeração foi seleccionada de quatro formas diferentes:

- 1) *Junto Injecção* - Os barramentos com microgeração localizam-se perto do nó injectar.
- 2) *Disposição Aleatória (Hipótese 1)* - Os barramentos com microgeração foram seleccionadas de forma aleatória.

- 3) *Disposição Aleatória (Hipótese 2)* - Os barramentos com microgeração foram seleccionadas de forma aleatória.
- 4) *Junto Cargas* - Os barramentos com microgeração localizam-se em barramentos com carga.

O número de barramentos seleccionados é igual nas quatro situações de localização simuladas.

Para a rede MT Semi-Urbana considerou-se a existência de microgeração num conjunto de 24 barramentos.

Para a rede MT Urbana consideraram-se dois cenários distintos: um com microgeração em 12 barramentos (12 $\mu$ G); outro onde se admite a existência de microgeração em 25 barramentos (25 $\mu$ G).

Para a rede MT Semi-Urbana foram simulados dois cenários diferentes: um em que os microgeradores geram quantidades iguais ( $\mu$ G\_Hom.), outro onde os microgeradores produzem quantidades diferentes entre si ( $\mu$ G\_Var.).

Os efeitos da microgeração foram simulados através de um decréscimo do valor da potência activa nos barramentos escolhidos que faz com que cada barramento acabe por se tornar um produtor de energia.

O valor da redução da potência activa nas quatro situações foi escolhido de forma a conseguir obter uma percentagem de microgeração total da rede dentro do intervalo [0%, 100%].

O limite de 100% significa que a microgeração alimenta todas as cargas, ou seja, as subestações não fornecem energia. Esta é uma situação extrema e pouco provável de acontecer, mas mesmo assim, optou-se por analisar todas as situações.

Admitindo que:

- $X \rightarrow$  Potência activa do barramento, i.e., potência instantânea que o barramento precisa para consumir
- $Z \rightarrow$  Valor percentual da redução sofrida pela Potência Activa
- $ZX \rightarrow$  Potência activa produzida pelo barramento
- $Y = X - ZX \rightarrow$  Carga do barramento após a redução de Potência Activa

Sempre que  $zx \leq x$  o barramento não fornece energia à rede, utilizando toda a energia produzida para o seu próprio consumo, sendo o restante em falta suprido pela rede. Quando  $zx > x$  a potência instantânea fornecida pelo barramento é  $zx - x$ .

#### 4.6.1- Algoritmo

Como já foi referido anteriormente os efeitos da microgeração foram simulados através de um decréscimo do valor da potência activa nos barramentos escolhidos. A simulação e análise da rede seguiram os seguintes passos:

1. *Indicação das condições iniciais: A Microgeração é zero no início.*
2. *Para cada um dos cenários (12 $\mu$ G, 25 $\mu$ G ou  $\mu$ G\_Hom.,  $\mu$ G\_Var.)*
3. *Percorrer os cenários de exploração (C140, C100, C90, C80, C50; C30 e C20):*
  - *Para cada caso de estudo considerado (Junto Cargas, Aleatória 1, Aleatória 2, e Junto Injecção):*
  - *Repetir até o nível de penetração da Microgeração atingir os 100%<sup>4</sup>:*
    - *Correr o trânsito de potências usando o algoritmo de Newton-Raphson;*
    - *Avaliação dos perfis de tensão dos barramentos, perdas e percentagem de carga nos ramos;*
    - *Aumento do nível de penetração da Microgeração.*

#### 4.6.2- Resultados

Esta secção apresenta os resultados das simulações efectuadas. Como já se referiu o objectivo é simular os efeitos que a localização da microgeração tem nas perdas, perfis de tensão e carregamento nos ramos das redes de distribuição consideradas para estudo.

Embora tenham sido simulados vários cenários exploratórios para as redes de Média Tensão Semi-Urbana e Urbana nas secções seguintes apenas se apresentam os resultados correspondentes às simulações efectuadas para a Rede Media Tensão Urbana.

Os resultados obtidos para as simulações da Rede Media Tensão Semi-Urbana são apresentados no Anexo II.

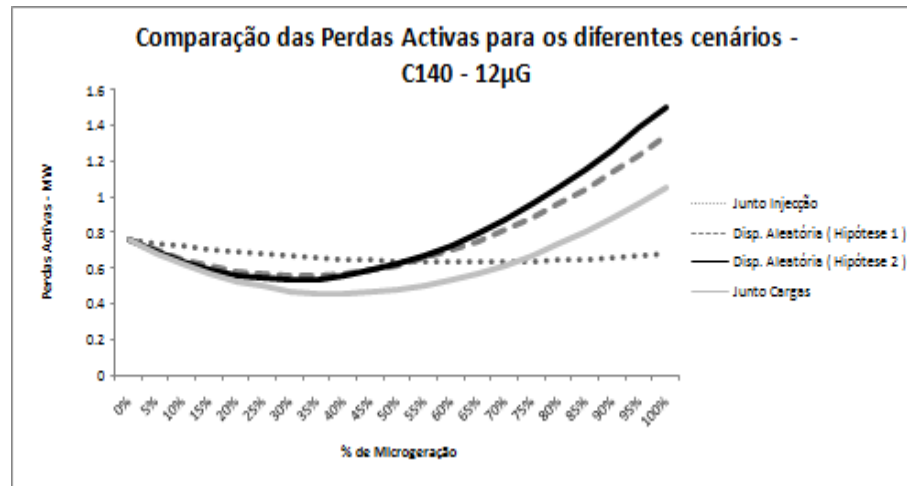
##### 4.6.2.1 - Perdas Activas

Da Figura 4.37 à Figura 4.43 é sumariado o impacto da microgeração nas Perdas Activas da rede de distribuição simulada no caso de estudo com microgeração em 12 barramentos.

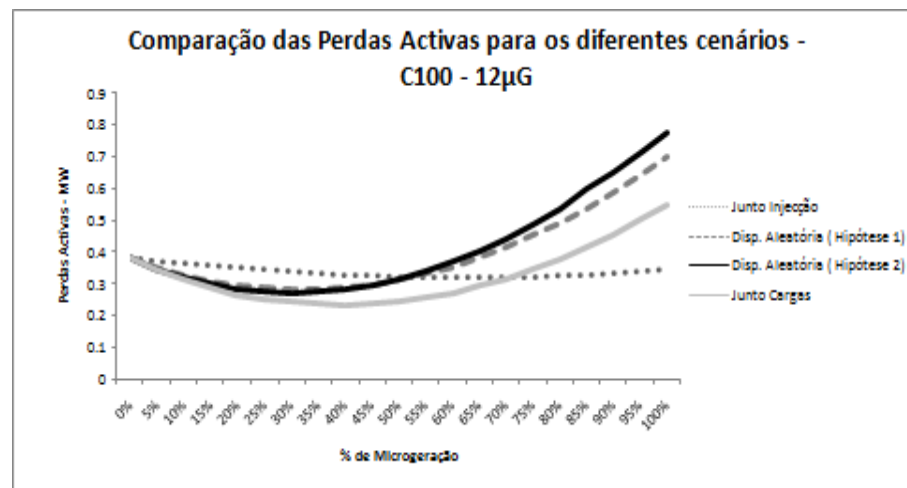
Da Figura 4.44 à Figura 4.50 é sumariado o impacto da microgeração nas Perdas Activas da rede de distribuição simulada no caso de estudo com microgeração em 25 barramentos.

---

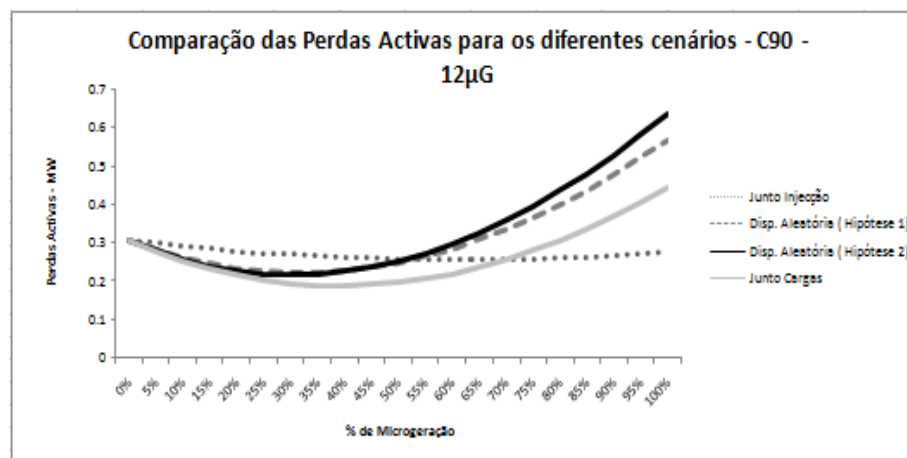
<sup>4</sup> Embora níveis de penetração de 100% não sejam perspectiváveis a médio prazo, optou-se por considerar esta possibilidade para efeitos de estudo.



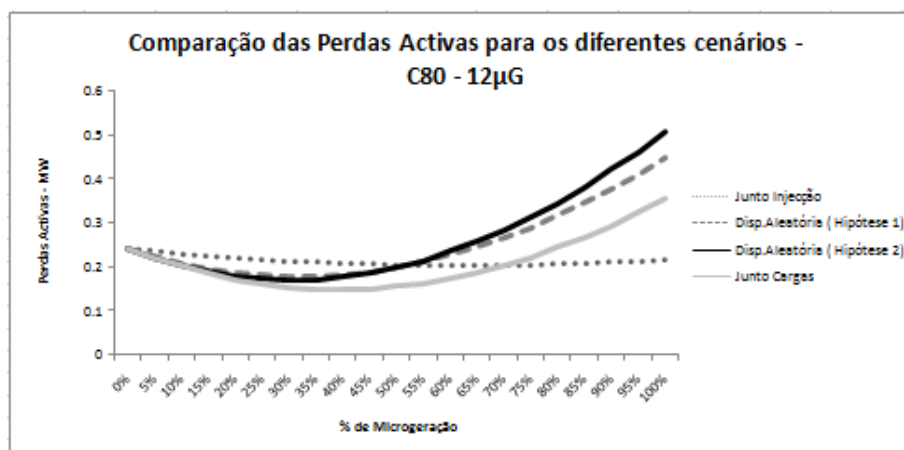
**Figura 4.37** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Ativas - cenário C140 - nos diferentes estudos simulados.



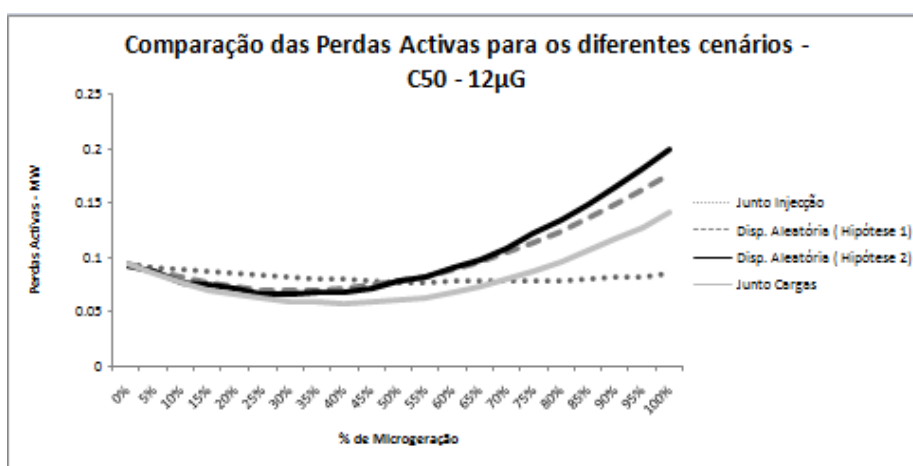
**Figura 4.38** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Ativas - cenário C100 - nos diferentes estudos simulados.



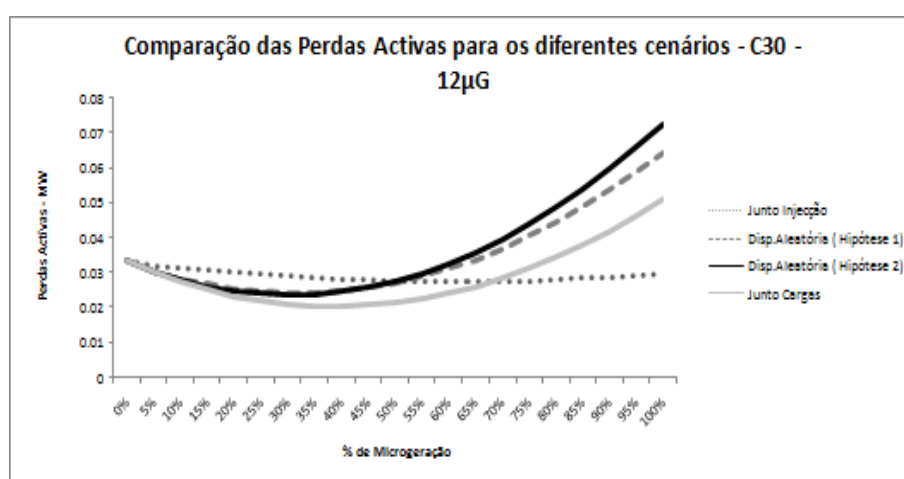
**Figura 4.39** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Ativas - cenário C90 - nos diferentes estudos simulados.



**Figura 4.40** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - cenário C80 - nos diferentes estudos simulados.



**Figura 4.41** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - cenário C50 - nos diferentes estudos simulados.



**Figura 4.42** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - cenário C30 - nos diferentes estudos simulados.



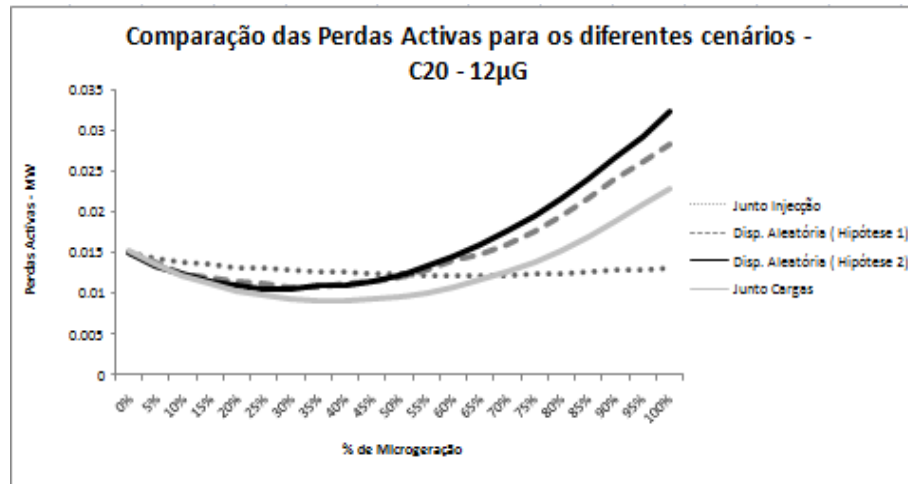


Figura 4.43 - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Ativas - cenário C20 - nos diferentes estudos simulados.

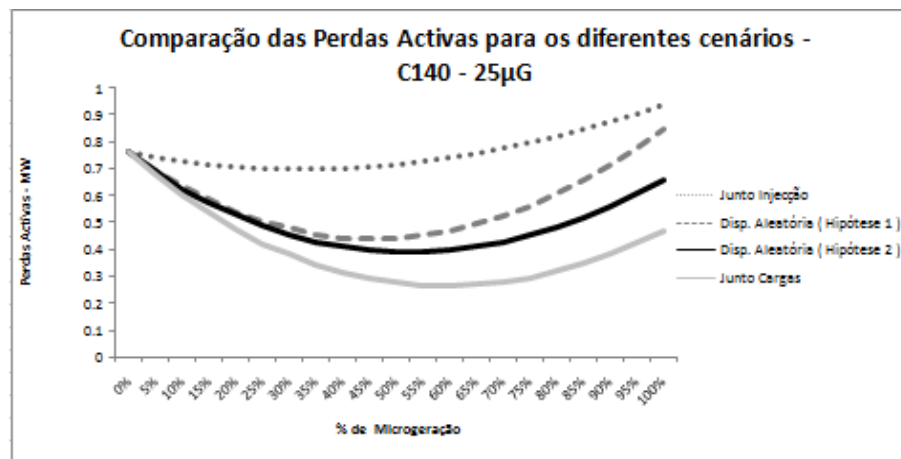


Figura 4.44 - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Ativas - cenário C140 - nos diferentes estudos simulados.

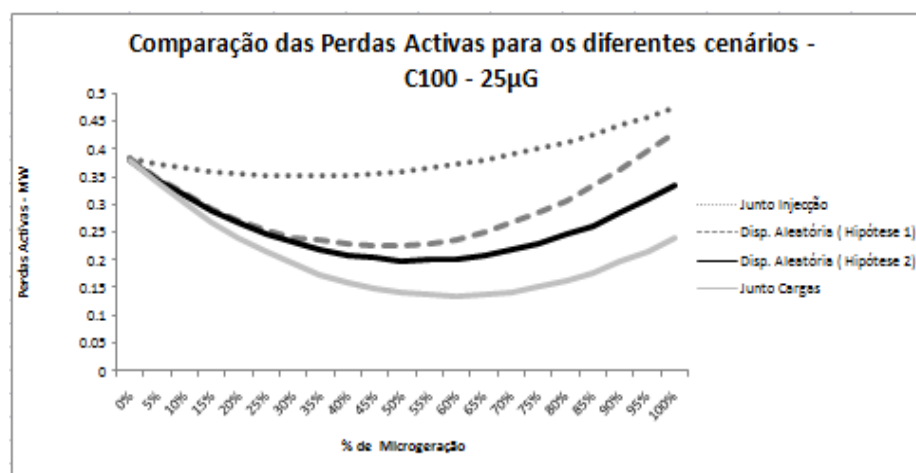
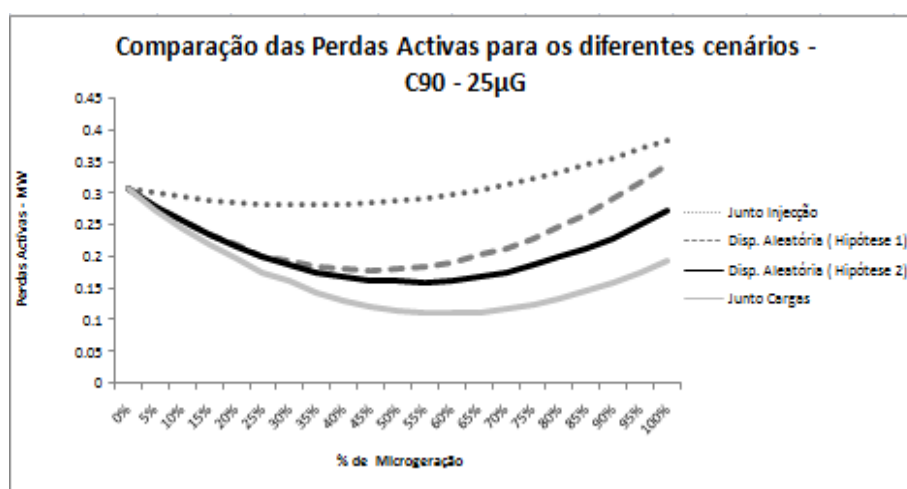
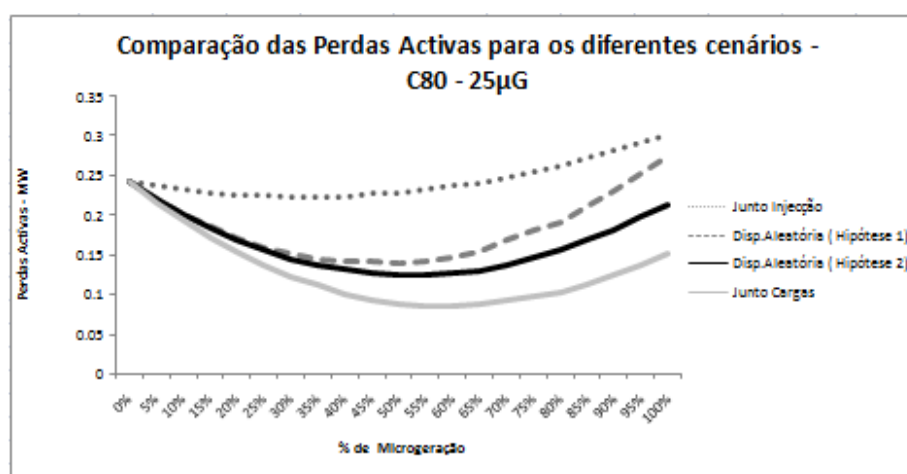


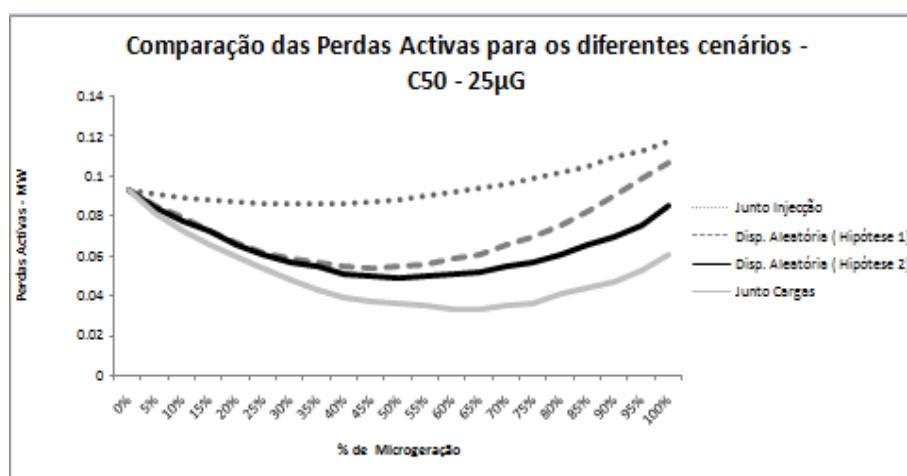
Figura 4.45 - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Ativas - cenário C100 - nos diferentes estudos simulados.



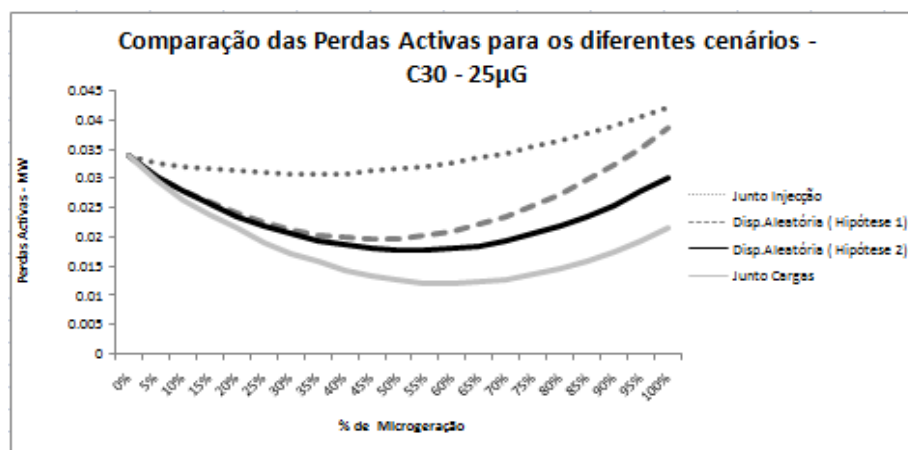
**Figura 4.46** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Ativas - cenário C90 - nos diferentes estudos simulados.



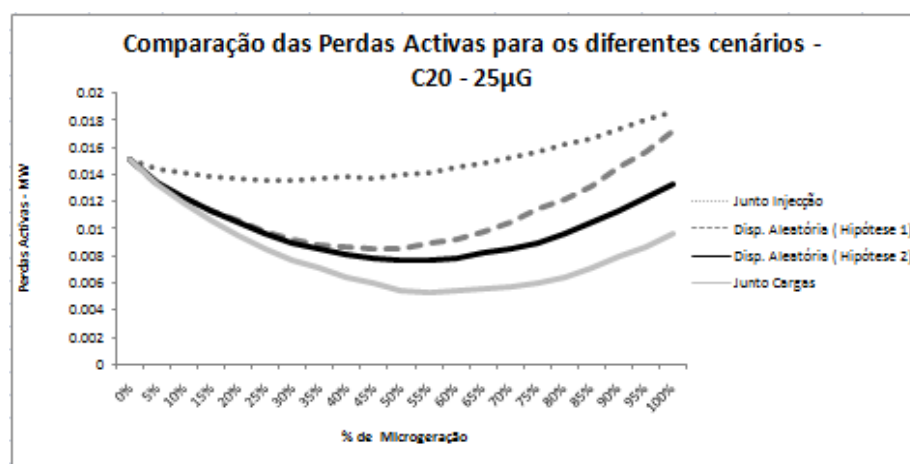
**Figura 4.47** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Ativas - cenário C80 - nos diferentes estudos simulados.



**Figura 4.48** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Ativas - cenário C50 - nos diferentes estudos simulados.



**Figura 4.49** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - cenário C30 - nos diferentes estudos simulados.



**Figura 4.50** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - cenário C20 - nos diferentes estudos simulados.

A primeira conclusão que se pode tirar é de que a microgeração contribui favoravelmente para a redução das Perdas Activas.

De facto, verifica-se que até um nível de penetração de 50% as perdas decrescem em todos os estudos simulados.

Analisando os gráficos verifica-se que de, dos quatro cenários de localização estudados, o mais favorável é o cenário *Junto Cargas*.

Uma interpretação possível para a diferença entre este caso e os outros estudos é a seguinte. Nos casos do estudo *Junto Cargas* a microgeração encontra-se espalhada por barramentos da rede situados próximos das zonas de consumo. Esta proximidade implica que a potência gerada nos microgeradores seja consumida no local sendo então o trânsito de potências e as correntes na maioria das linhas de baixo valor. Como as Perdas Activas variam de forma directa com as correntes nos ramos, pois estas estão quadraticamente relacionadas,

uma redução do valor das correntes nas linhas significa uma redução do valor das Perdas Activas.

Verifica-se que todos os cenários estudados apresentam curvas que não são monótonas. As curvas apresentam um sentido decrescente até aproximadamente 50% de penetração. Após este valor as curvas das Perdas Activas adquirem um sentido crescente, ou seja, as Perdas Activas aumentam. Uma vez que, na grande maioria dos casos, para valores de microgeração superiores a 50% a potência oriunda da microgeração é superior às necessidades de consumo instantâneo das cargas mais próximas, o fluxo das linhas inverte o sentido. É esta inversão do sentido do fluxo das linhas que justifica este aumento das Perdas Activas nas linhas.

É possível observar que, à excepção do cenário “Junto Injecção”, o gradiente de crescimento das Perdas Activas com a microgeração é mais acentuado que o gradiente de decrescimento obtendo-se para casos de penetração extrema (90 a 100%) valores de Perdas Activas até superiores aos obtidos na ausência de microgeração na rede. A explicação para este fenómeno é a de que, para estes valores de penetração (acima 90%) a potencia que alimenta as cargas da rede é essencialmente proveniente dos microgeradores e, como tal, as linhas mais carregadas da rede são as que se encontram próximas das cargas que caracteristicamente têm resistência superior às restantes linhas da rede (posição intermédia da rede ou situadas junto à injecção).

A conclusão principal que se pode obter é que, para níveis de penetração até aproximadamente 50%, quanto mais longe os microgeradores estão das subestações, maior é a redução das Perdas Activas, comparando com o caso base (0% de microgeração).

#### 4.6.2.2 - Perdas Reactivas

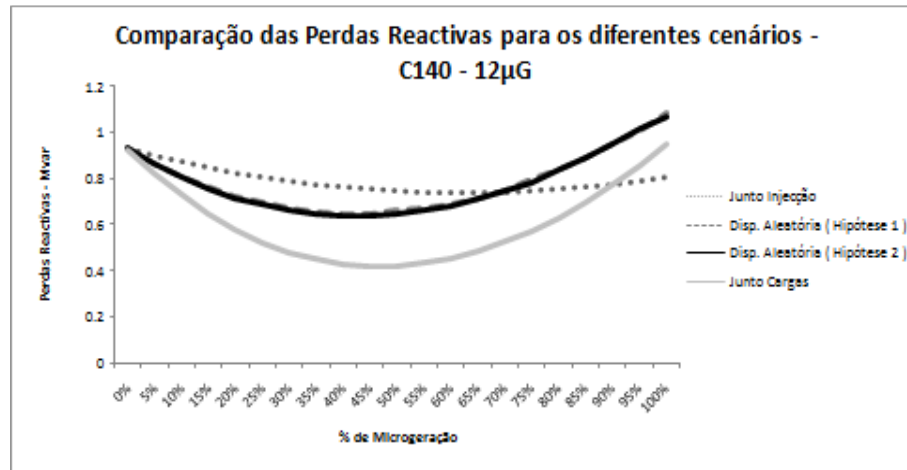
Da Figura 4.51 à Figura 4.57 é sumariado o impacto da microgeração nas Perdas Reactivas da rede de distribuição simulada no caso de estudo com microgeração em 12 barramentos.

Da Figura 4.58 à Figura 4.64 é sumariado o impacto da microgeração nas Perdas Reactivas da rede de distribuição simulada no caso de estudo com microgeração em 25 barramentos.

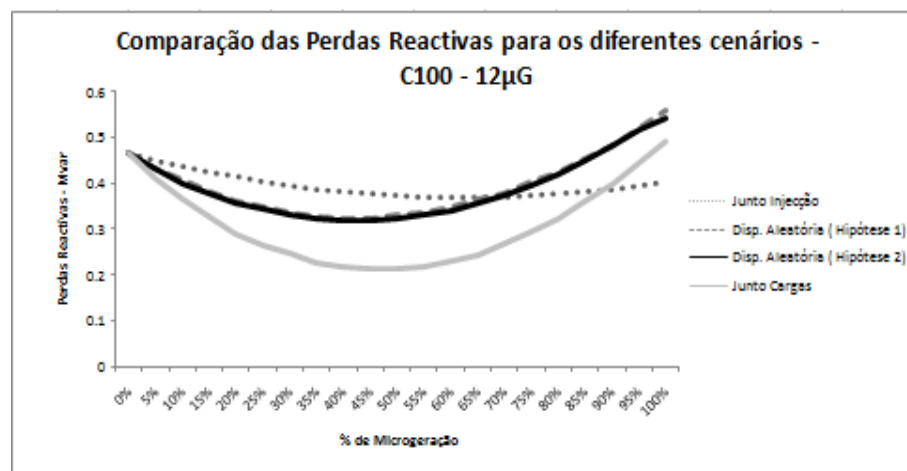
Verifica-se um comportamento semelhante ao das perdas activas, ou seja, até 50% de penetração a microgeração contribui para a redução das Perdas Reactivas. A partir deste valor um aumento de microgeração significa um aumento das Perdas Reactivas.

Verifica-se que o cenário mais favorável é o *Junto Cargas*.

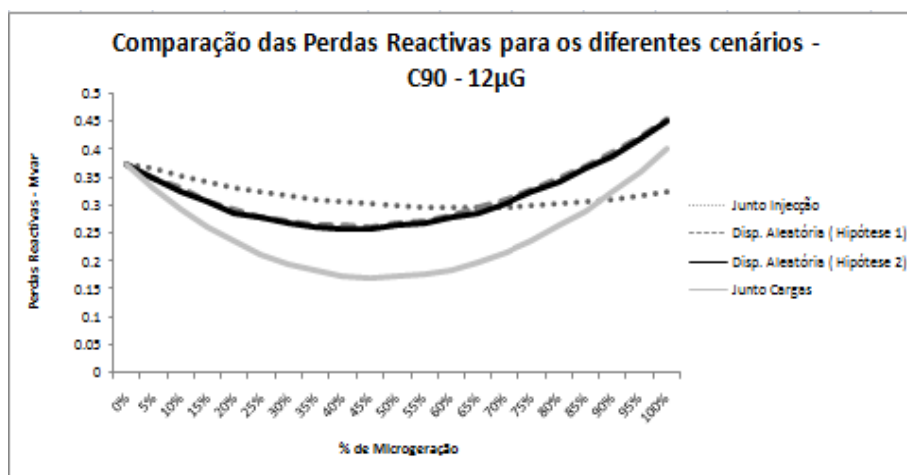
As explicações para estas verificações são em tudo idênticas às adiantadas para o caso das Perdas Activas.



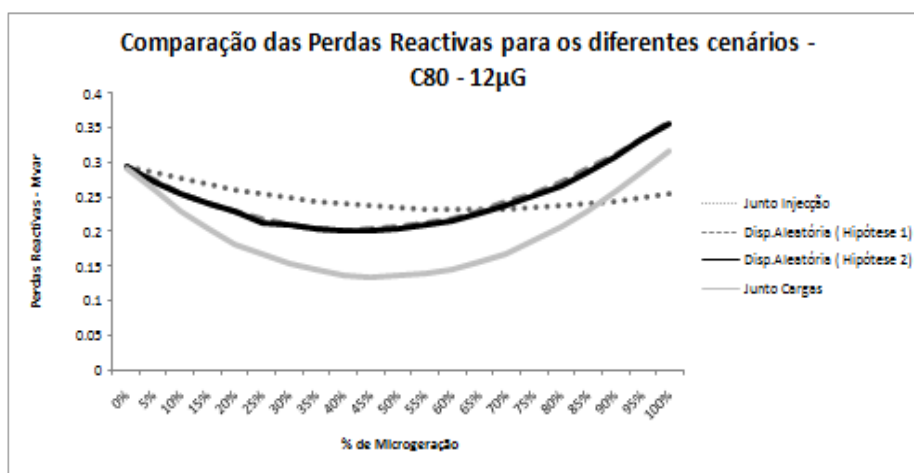
**Figura 4.51** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C140 e cenário 12μG - nos diferentes estudos simulados.



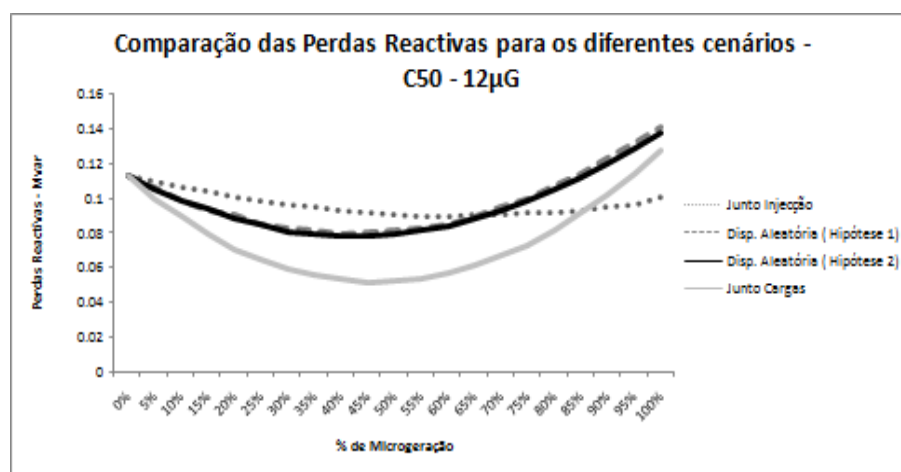
**Figura 4.52** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C100 e cenário 12μG - nos diferentes estudos simulados.



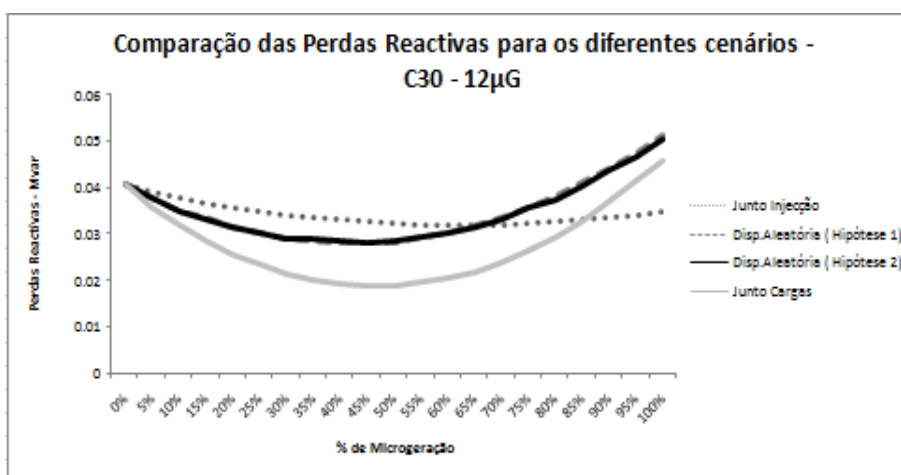
**Figura 4.53** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C90 e cenário 12μG - nos diferentes estudos simulados.



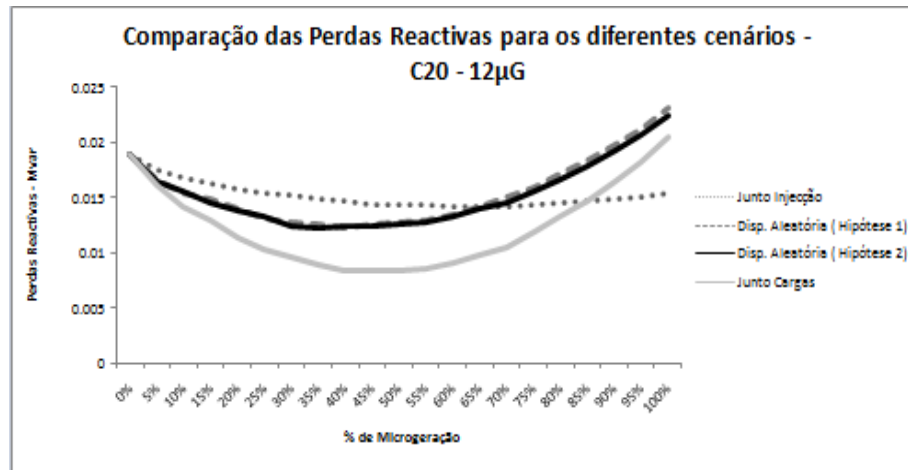
**Figura 4.54** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C80 e cenário 12 $\mu$ G - nos diferentes estudos simulados.



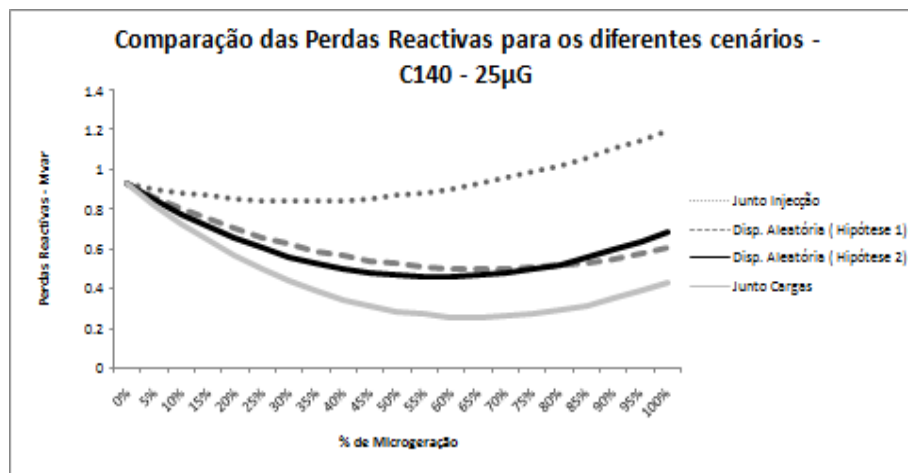
**Figura 4.55** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C50 e cenário 12 $\mu$ G - nos diferentes estudos simulados.



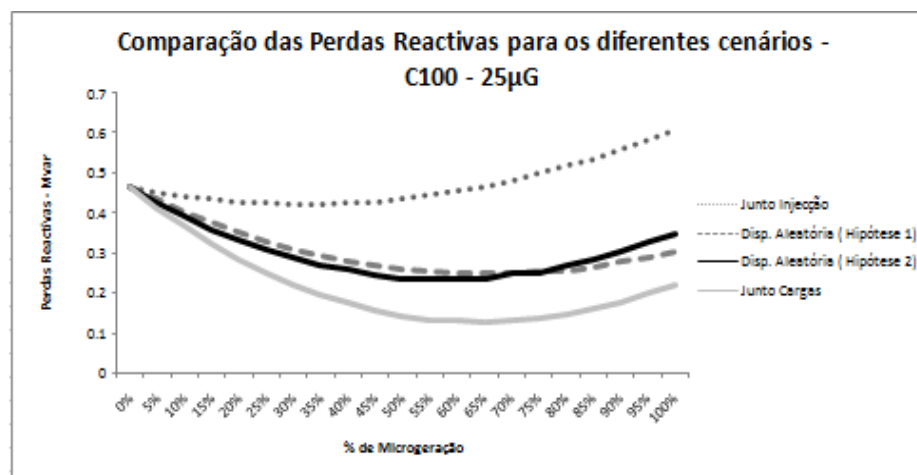
**Figura 4.56** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C30 e cenário 12 $\mu$ G - nos diferentes estudos simulados.



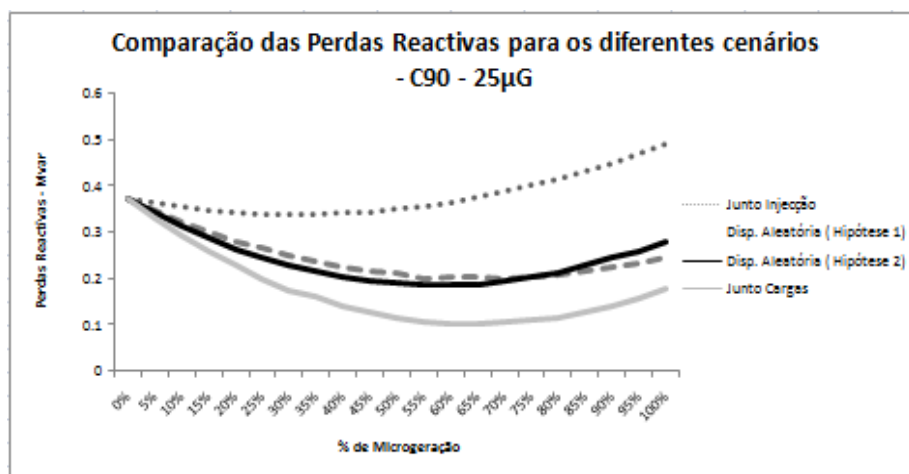
**Figura 4.57** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C20 e cenário 12 $\mu$ G - nos diferentes estudos simulados.



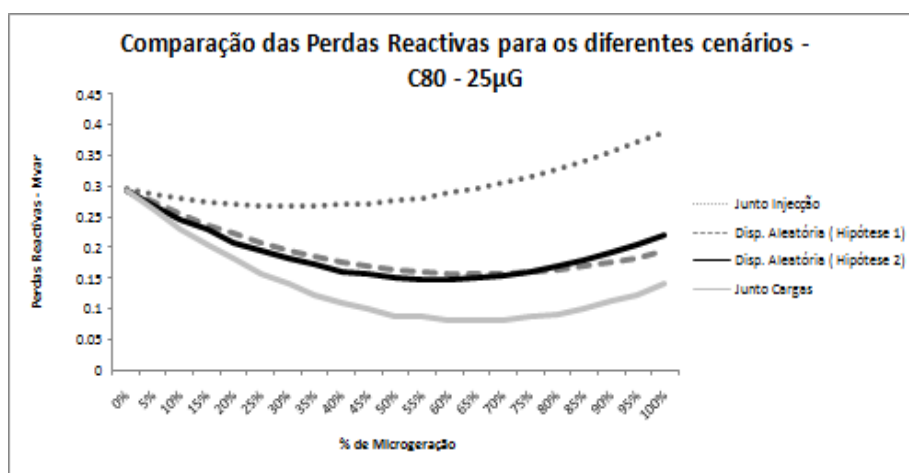
**Figura 4.58** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C140 e cenário 25 $\mu$ G - nos diferentes estudos simulados.



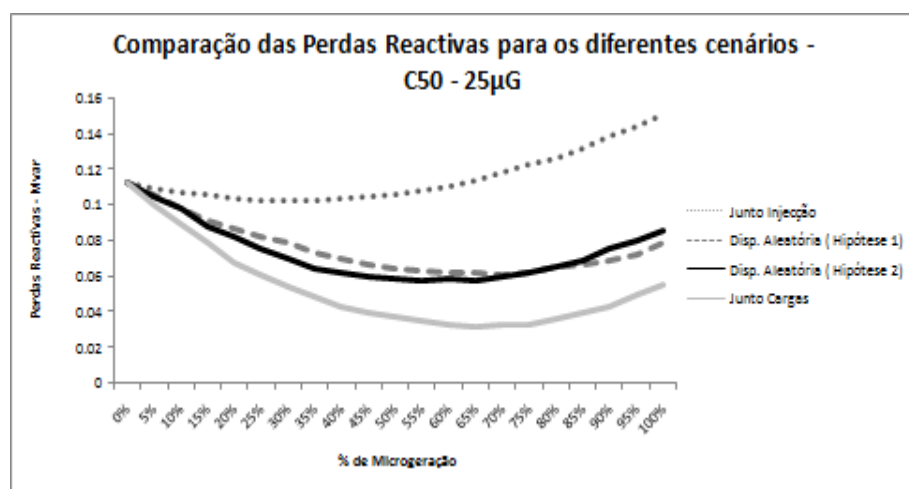
**Figura 4.59** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C100 e cenário 25 $\mu$ G - nos diferentes estudos simulados.



**Figura 4.60** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C90 e cenário 25μG - nos diferentes estudos simulados.

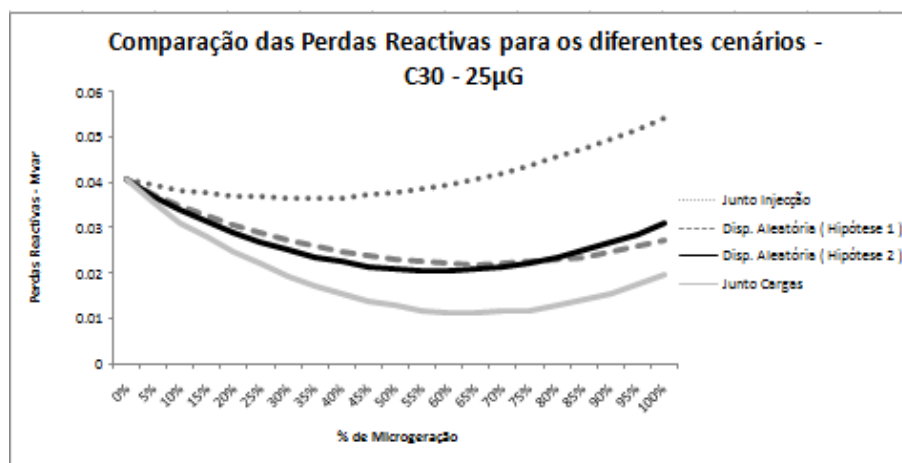


**Figura 4.61** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C80 e cenário 25μG - nos diferentes estudos simulados.

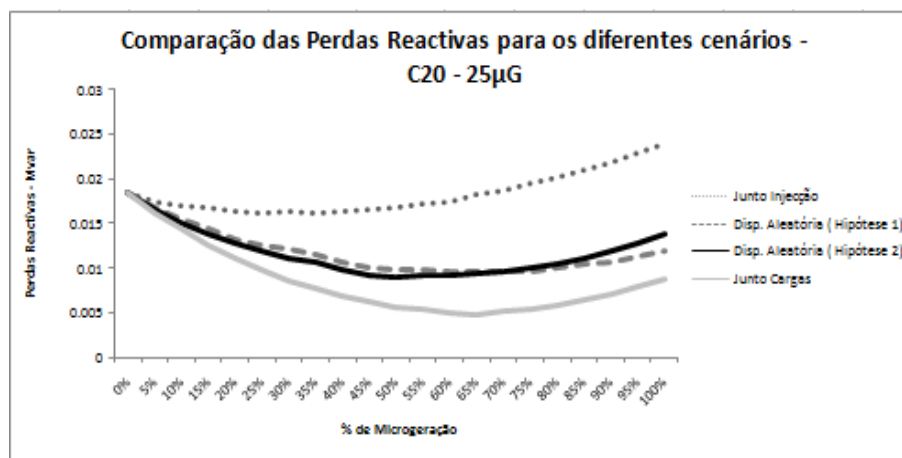


**Figura 4.62** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C50 e cenário 25μG - nos diferentes estudos simulados.





**Figura 4.63** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C30 e cenário 25 $\mu$ G - nos diferentes estudos simulados.



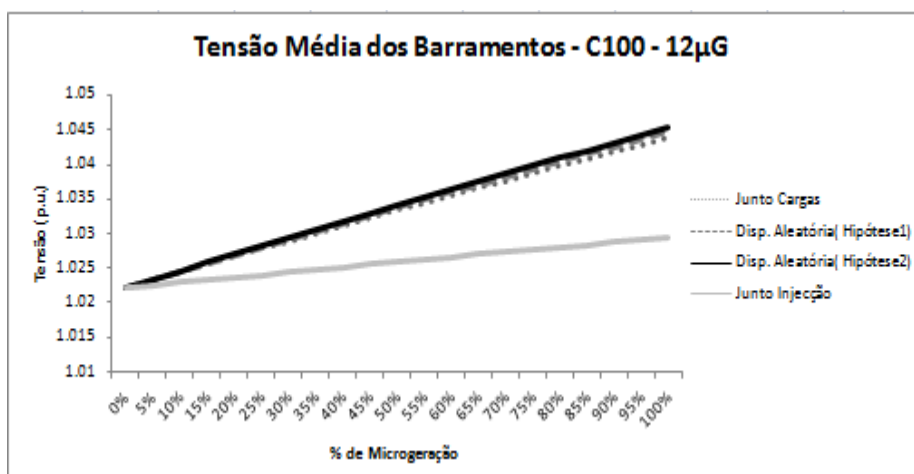
**Figura 4.64** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C20 e cenário 25 $\mu$ G - nos diferentes estudos simulados.

#### 4.6.3- Perfis de Tensão

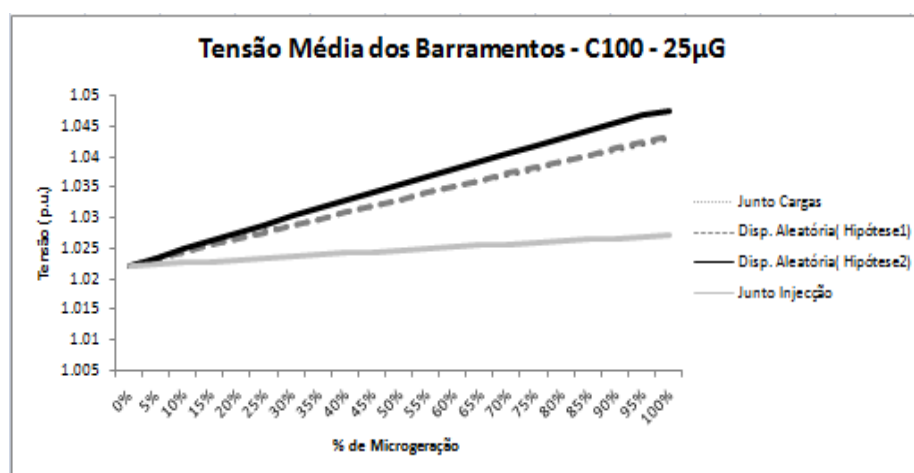
Neste estudo calcularam-se os valores da tensão em todos os barramentos da rede. Contudo, devido à dimensão dos resultados e por simplificação optou-se por apresentar os resultados obtidos para a média dos valores da tensão nos barramentos.

Uma vez que os resultados são similares para os diversos cenários de carga optou-se também por só apresentar os resultados para o cenário de carga C100.

Nas figuras seguintes (Figuras 4.65 e 4.66) é apresentada a variação da tensão média em função da percentagem de microgeração para cada cenário simulado.



**Figura 4.65** - Rede MT Urbana - Comparação dos perfis de Tensão - cenário C100 e cenário 12μG - nos diferentes estudos simulados.



**Figura 4.66** - Rede MT Urbana - Comparação dos perfis de Tensão - cenário C100 e cenário 25μG - nos diferentes estudos simulados.

Analisando as figuras podemos concluir que a tensão aumenta com o aumento de penetração de microgeração na rede de distribuição, ou seja, a tensão varia directamente com a microgeração.

Dos estudos efectuados aquele que permite obter melhores resultados é *Junto Injecção*. Tal conclusão vem da constatação de que os valores de tensão são mais elevados nos casos em que a microgeração se encontra mais afastada das subestações.

Estes resultados podem ser justificados pelo facto de os pequenos produtores independentes mais distantes das subestações contribuírem mais favoravelmente para o controlo da tensão.

Isto é importante, especialmente no caso de redes muito carregadas, devido a problemas de colapso de tensão.

Assim a maior conclusão que se pode retirar deste estudo é a de que quanto mais próximos da injeção estão os microgeradores melhores são os resultados para os perfis de tensão.

#### 4.6.4- Percentagem de Carga nos Ramos

As redes de distribuição de energia são geralmente planeadas de acordo com um determinado cenário de evolução de carga, obtido por técnicas de previsão adequadas.

Contudo, na prática o crescimento espacial de cargas diverge frequentemente do cenário que serviu de base ao planeamento dessas mesmas redes. Desta forma, nestes casos alguns ramos estarão a operar perto dos seus limites de capacidade, resultando em perdas elevadas, ou pior ainda, na actuação de relés de sobrecarga ou deslastre de carga.

Neste estudo do carregamento dos ramos, analisaram-se os seguintes ramos: o ramo com percentagem de carga mais elevada, um ramo localizado junto a uma zona de consumo, um ramo próximo da subestação e um ramo situado numa posição intermédia da rede, como indicado na Tabela 4.4.

**Tabela 4.4 – Ramos analisados no estudo**

Cenário de Carga	Ramo	Observação/ Localização
C100	598 - 779	Junto zona de consumo
	8 - 10	Junto da Injecção
	778 - 329	Caso Especial
	435 - 283	Posição Intermédia

Nas Figuras 4.67 a 4.70 são apresentados os resultados obtidos.

A microgeração pode ou não influenciar a percentagem de carga nos ramos, dependendo do facto dos ramos alimentarem os nós onde os geradores de microgeradores estão ligados.

Verifica-se que no geral, a percentagem de carga nos ramos depende da localização da microgeração na rede. No entanto, não é possível extrair conclusões gerais sobre os benefícios eventuais da localização da microgeração ser perto ou longe das subestações.

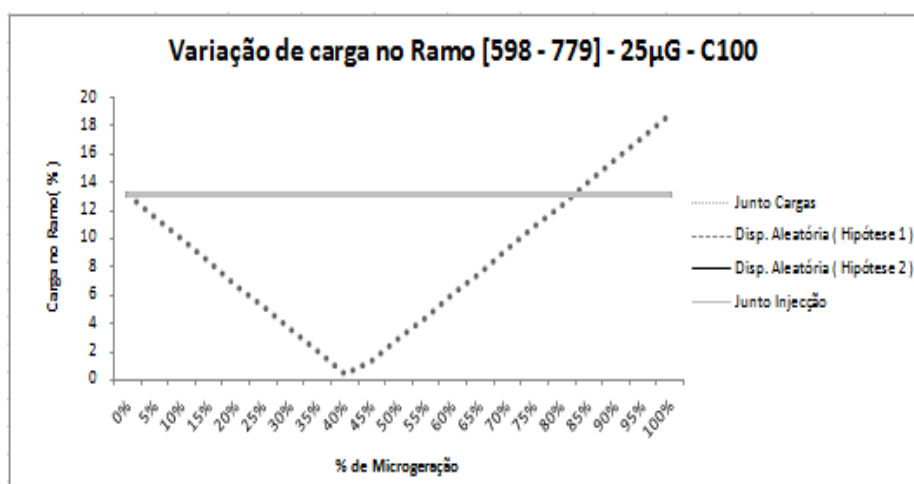
No estudo *Junto Cargas* a microgeração apenas afecta a carga existente nos ramos 8-10. Os restantes ramos não são afectados pois nas proximidades destes ramos não existe nenhum barramento com microgeração. Sendo assim, a carga destes ramos mantém-se sempre constante independentemente da microgeração que possa haver nos barramentos.

No estudo *Disposição Aleatória 1* a microgeração afecta a carga de todos os ramos.

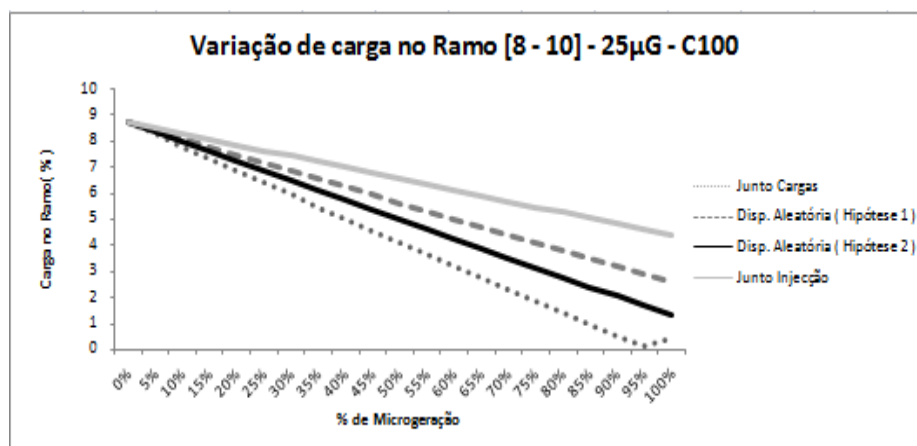
No estudo *Disposição Aleatória 2* é possível observar que a microgeração apenas afecta a carga do ramo (435-283) mantendo a carga nos outros ramos inalterável.

Relativamente ao estudo *Junto Injecção* é possível observar que a microgeração também só afecta um ramo (435-283) mantendo-se nos outros ramos a percentagem de carga constante.

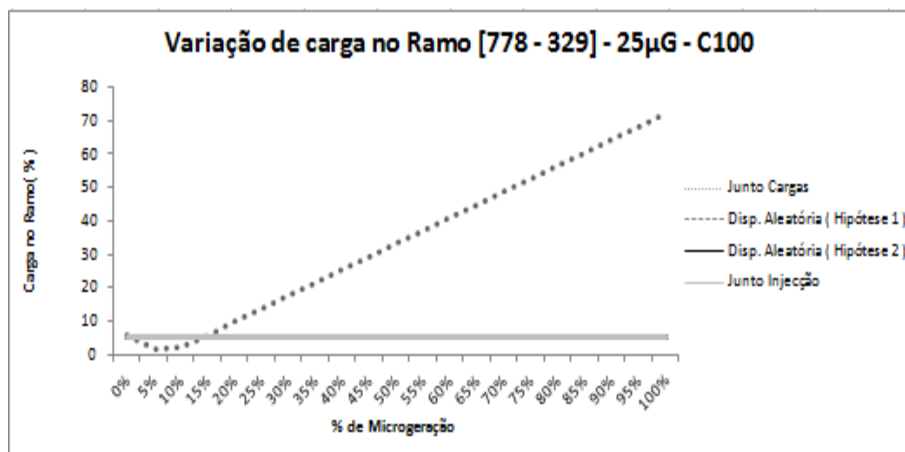
Analisando estes resultados, a conclusão que podemos tirar é a de que a localização da microgeração pode ou não influenciar os ramos da rede, dependendo do facto de a microgeração estar mais próxima ou afastada dos ramos em questão.



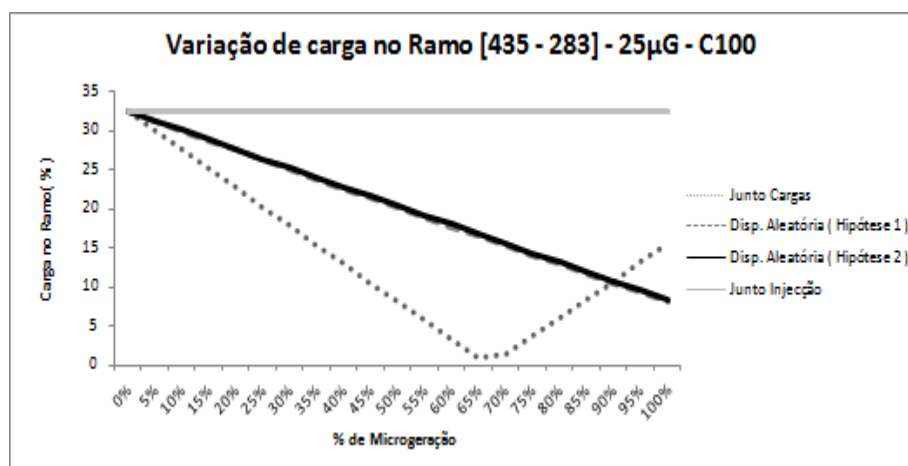
**Figura 4.67** - Rede MT Urbana - Percentagem de Carga no Ramo (598-779) - cenários C100 e 25μG - nos diferentes estudos simulados.



**Figura 4.68** - Rede MT Urbana - Percentagem de Carga no Ramo (8-10) - cenários C100 e 25 μG - nos diferentes estudos simulados.



**Figura 4.69** - Rede MT Urbana - Percentagem de Carga no Ramo (778-329) - cenários C100 e 25μG - nos diferentes estudos simulados.



**Figura 4.70** - Rede MT Urbana - Percentagem de Carga no Ramo (435-283) - cenário C100 e 25μG - nos diferentes estudos simulados.

## 4.7 - Efeitos da Dispersão da Microgeração

O objectivo desta secção é analisar o impacto que a dispersão da microgeração numa rede de distribuição de energia tem nos índices de qualidade da rede (perdas, tensão e carregamento dos ramos).

A maior ou menor dispersão da microgeração na rede de distribuição foi simulada recorrendo à utilização de um maior ou menor número de microgeradores.

Assim para a Rede de Média Tensão Urbana foram simulados dois cenários diferentes: um onde se admitia que a microgeração estava distribuída por 12 barramentos da rede (cenário 12μG); outro onde a microgeração é distribuída por 25 barramentos da rede (cenário 25μG). Estes dois cenários de dispersão foram simulados para os seguintes cenários de carga: C140, C100, C50, C20.

Estes dois cenários de dispersão foram analisados para os diferentes cenários de localização da microgeração: Junto Cargas, Junto Injecção, Disposição Aleatória 1 e Disposição Aleatória 2.

Os efeitos da microgeração foram simulados através de um decréscimo do valor da potência activa nos barramentos escolhidos.

O valor da redução da potência activa nas duas situações foi escolhido de forma a conseguir obter uma percentagem de microgeração total da rede dentro do intervalo [0%, 100%].

#### 4.7.1- Algoritmo

Tal como nos estudos anteriormente estudados, neste estudo os efeitos da microgeração foram simulados através de um decréscimo do valor da potência activa nos barramentos escolhidos.

A simulação e análise da rede seguiram os seguintes passos:

1. *Indicação das condições iniciais: A Microgeração é zero no início.*
2. *Para cada um dos dois cenários (12μG, 25μG):*
  - *Percorrer os cenários de exploração (C140, C100, C50, C20):*
    - *Para cada caso de estudo considerado (Junto Cargas, Aleatória 1, Aleatória 2, e Junto Injecção):*
    - *Repetir até o nível de penetração da Microgeração atingir os 100%<sup>5</sup>:*
      - *Correr o trânsito de potências usando o algoritmo de Newton-Raphson;*
      - *Avaliação dos perfis de tensão dos barramentos, perdas e percentagem de carga nos ramos;*
    - *Aumento do nível de penetração da Microgeração.*

#### 4.7.2- Resultados

Nas secções seguintes são apresentados os resultados das simulações efectuadas. Como já se referiu o objectivo é simular os efeitos que a dispersão da microgeração tem nas perdas, perfis de tensão e carregamento nos ramos da rede de distribuição considerada para estudo.

Embora tenham sido simulados vários cenários de carga para a rede de Média Tensão Urbana nas secções seguintes apenas se apresentam os seguintes resultados:

- Nas secções correspondentes às Perdas Activas e Reactivas apenas são apresentados os resultados para os valores de carga típicos (cenário C100) pois para outros valores de carga estes são em tudo similares.

---

<sup>5</sup> Embora níveis de penetração de 100% não sejam perspectiváveis a médio prazo, optou-se por considerar esta possibilidade para efeitos de estudo.

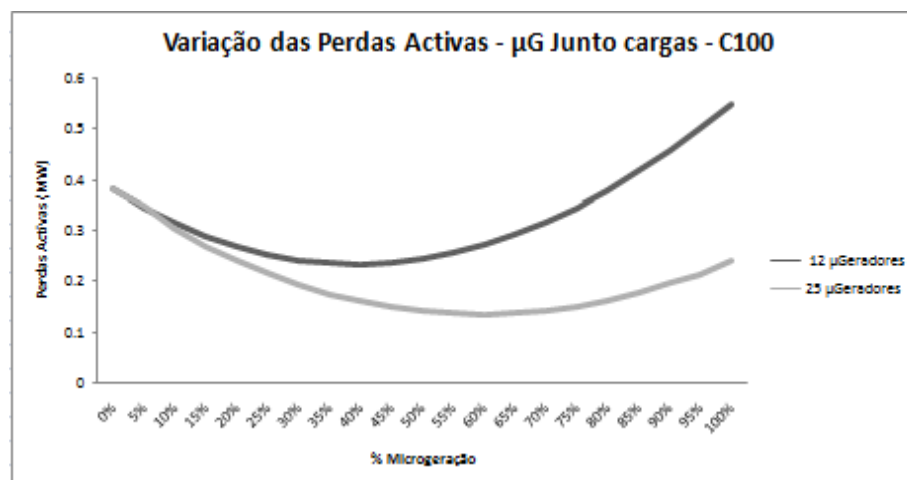
- Na secção correspondente aos Perfis de Tensão, por simplificação, só são apresentados os resultados obtidos para as tensões médias nos barramentos e o Barramento nº 671 aquando dos cenários de localização Junto Cargas e de carga C140, C100, C50; C20.
- Na secção referente ao Carregamento dos Ramos são apresentados os resultados obtidos para o ramo mais carregado da rede no caso base, para um ramo localizado junto de um barramento com microgeração, um ramo situado junto à subestação e para um ramo situada numa posição intermédia da rede. No entanto para os ramos seleccionados só são apresentados os resultados das simulações onde se admite o cenário de localização Junto Cargas com cenários de Carga C140, C100, C50, C20. Os restantes resultados não são apresentados uma vez que conduzem às mesmas conclusões.

#### 4.7.2.1 - Perdas Activas

Da Figura 4.71 à figura 4.74 é sumariado o impacto que a dispersão da microgeração tem nas Perdas Activas da rede de distribuição simulada nos diferentes casos de estudo.

Verifica-se que quanto maior for o número de barramentos com microgeração melhores são os resultados, ou seja, quanto maior for a dispersão maior é a redução das Perdas Activas na rede.

Verifica-se que, em todos os estudos efectuados, o cenário onde existe microgeração num número maior de barramentos (25 barramentos) conduz a melhores resultados que são traduzidos numa maior redução de Perdas Activas nas linhas. Esta melhoria de resultados é explicada pelo facto de uma maior dispersão da microgeração conduzir a uma maior distribuição da corrente pelos vários ramos da rede, reduzindo assim as cargas nos ramos e como tal as Perdas Activas.



**Figura 4.71** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - Cenários C100 e Junto Cargas

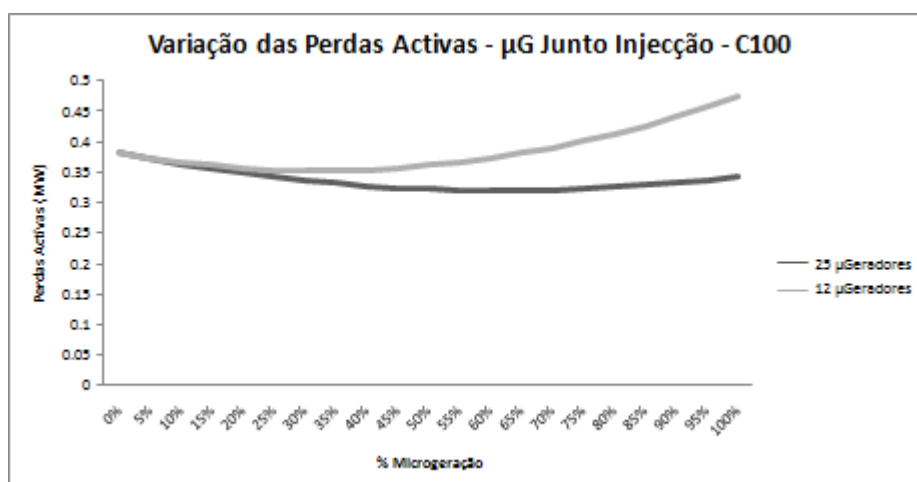


Figura 4.72 - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - Cenários C100 e Junto Injecção

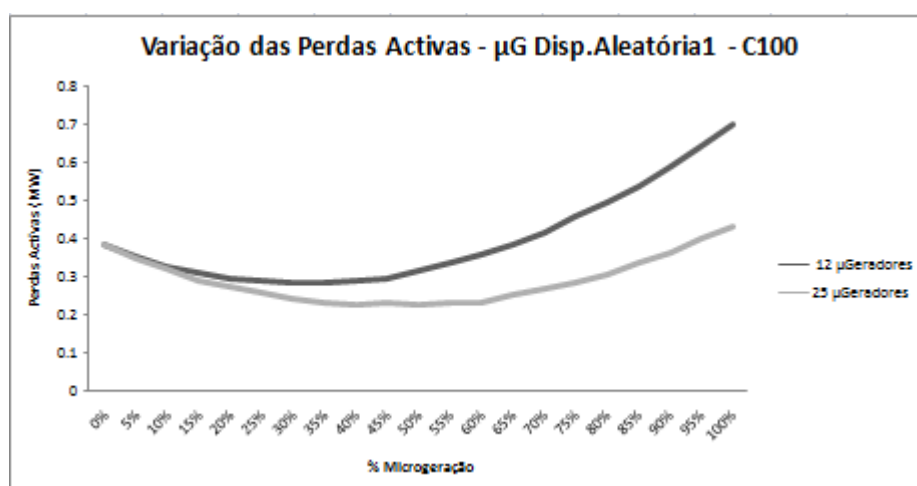


Figura 4.73 - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - Cenários C100 e Disp. Aleatória 1

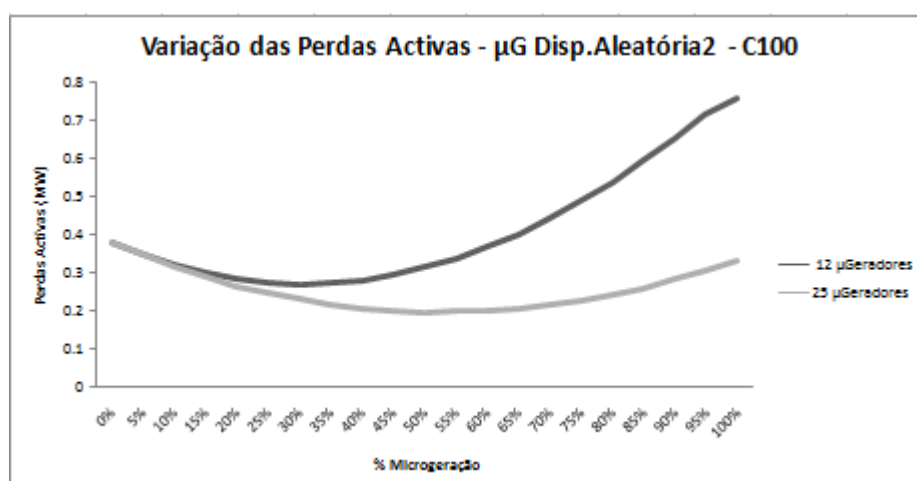


Figura 4.74 - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Activas - Cenários C100 e Disp. Aleatória 2

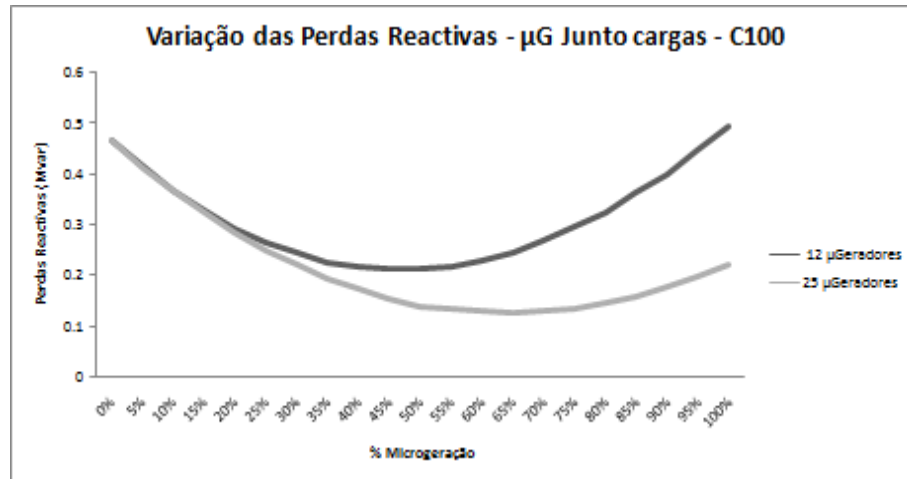


#### 4.7.2.2 - Perdas Reactivas

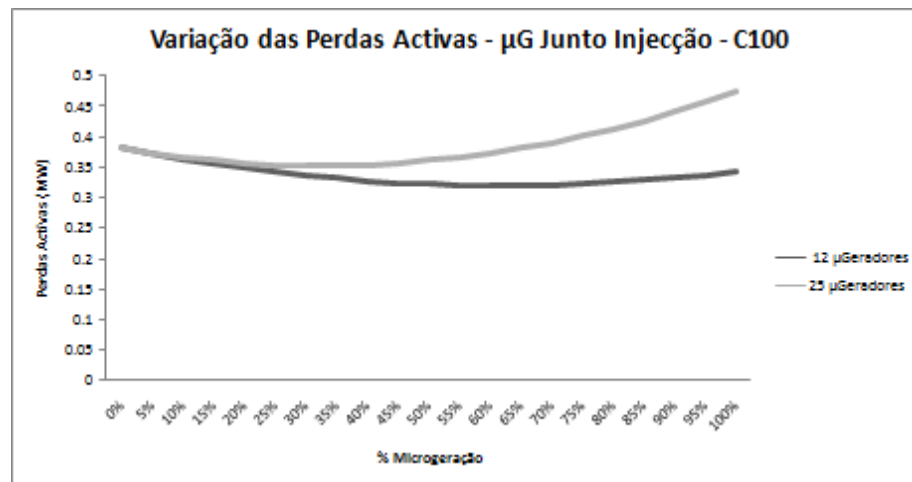
Da Figura 4.75 à figura 4.78 é sumariado o impacto que a dispersão da microgeração tem nas Perdas Reactivas da rede de distribuição simulada nos diferentes casos de estudo.

Verifica-se que os resultados obtidos para as Perdas Reactivas são em tudo semelhantes aos obtidos para as Perdas Activas.

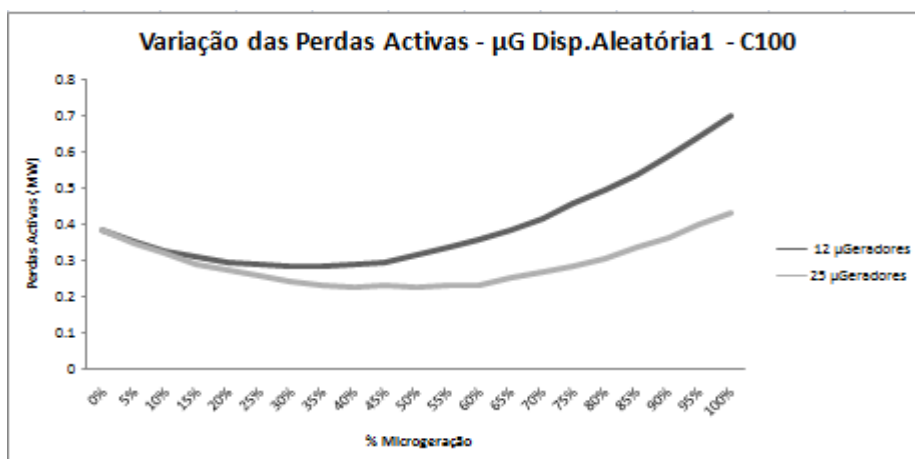
Verifica-se que quanto maior é o número de barramentos com microgeração, maior é a redução de Perdas Reactivas.



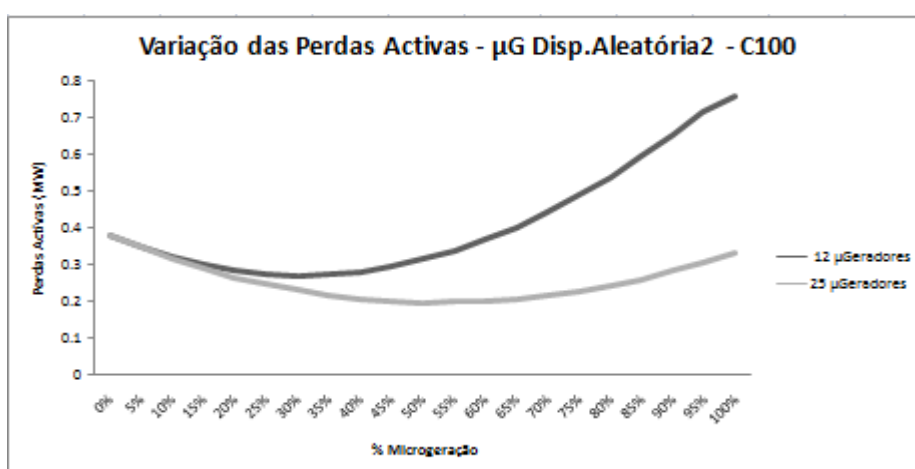
**Figura 4.75** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - Cenários C100 e Junto Cargas



**Figura 4.76** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - Cenários C100 e Junto Injecção



**Figura 4.77** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - Cenários C100 e Disp. Aleatória 1



**Figura 4.78** - Rede MT Urbana - Comparação das Perdas Reactivas - Cenários C100 e Disp. Aleatória 2

### 4.7.3- Perfis de Tensão

Da Figura 4.79 à figura 4.82 é sumariado o impacto que a dispersão da microgeração tem na tensão média dos barramentos da rede de distribuição.

Da Figura 4.83 à figura 4.86 é sumariado o impacto que a dispersão da microgeração tem na tensão do barramento nº 671 da rede de distribuição.

Verifica-se que a dispersão da microgeração não influencia a tensão média dos barramentos, mas que no entanto pode ter influência sobre a tensão de barramentos específicos.

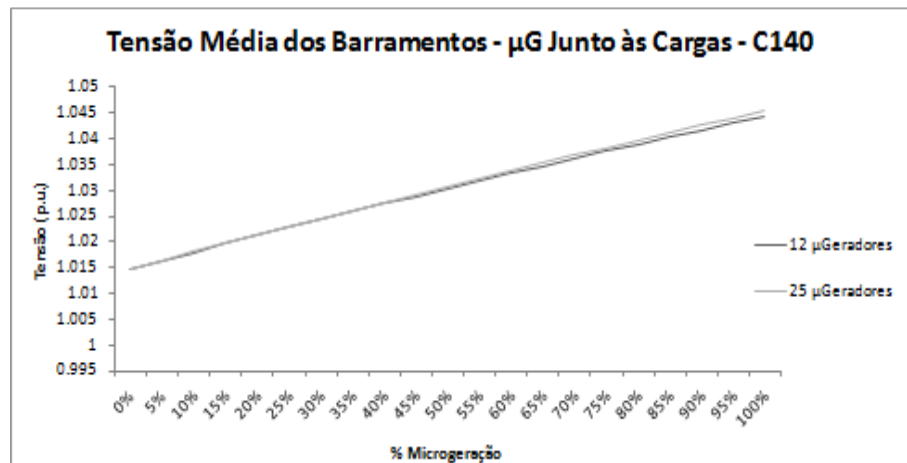


Figura 4.79 - Rede MT Urbana - Comparação da Tensão Média dos Barramentos - Cenários C140 e Junto Cargas

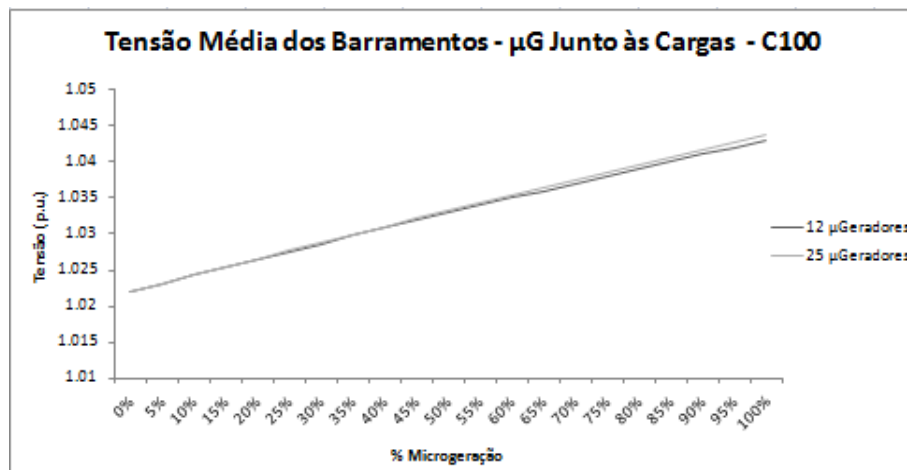


Figura 4.80 - Rede MT Urbana - Comparação da Tensão Média dos Barramentos - Cenários C100 e Junto Cargas

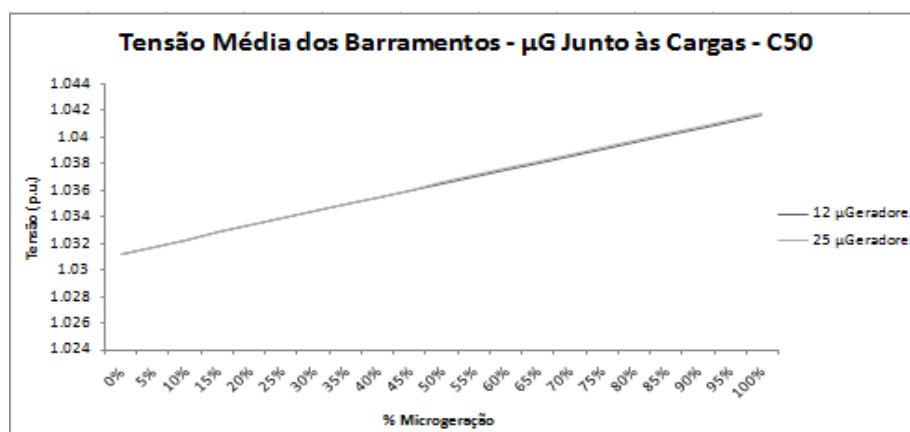
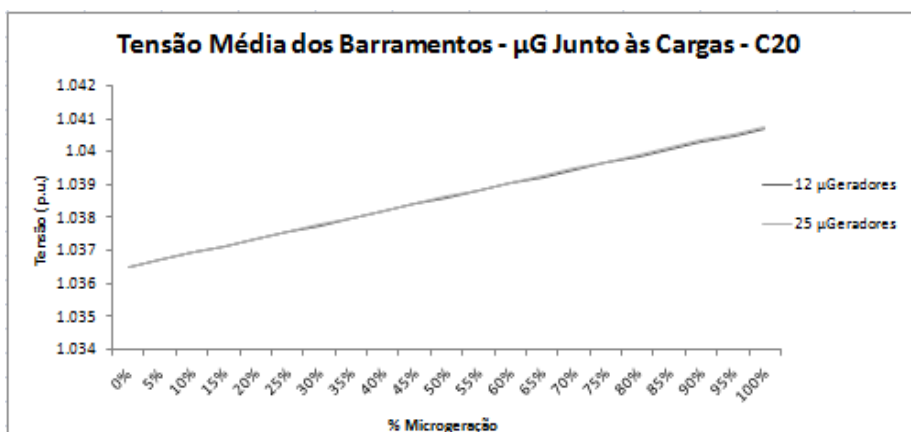
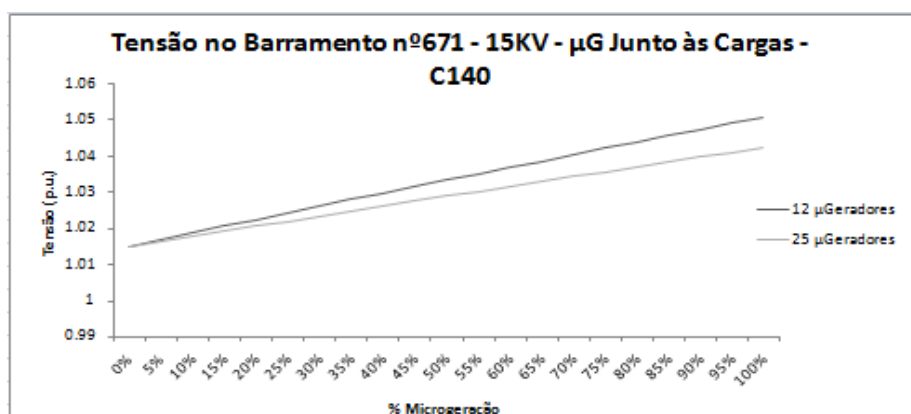


Figura 4.81 - Rede MT Urbana - Comparação da Tensão Média dos Barramentos - Cenários C50 e Junto Cargas

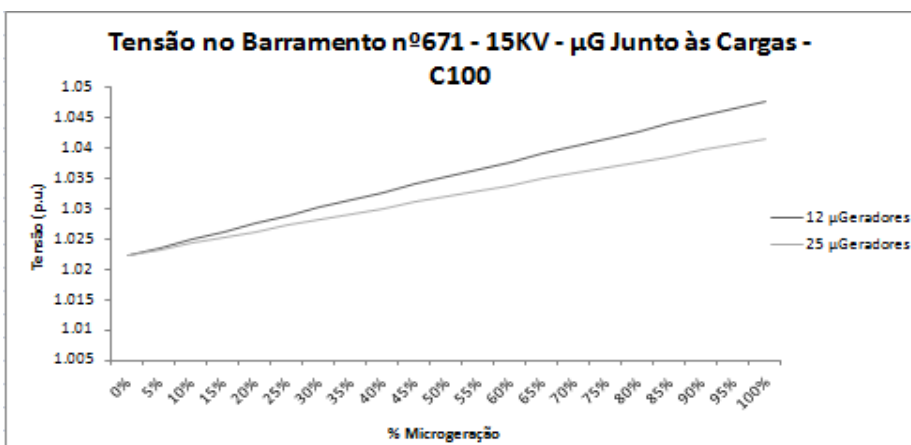


**Figura 4.82** - Rede MT Urbana - Comparação da Tensão Média dos Barramentos - Cenários C20 e Junto Cargas

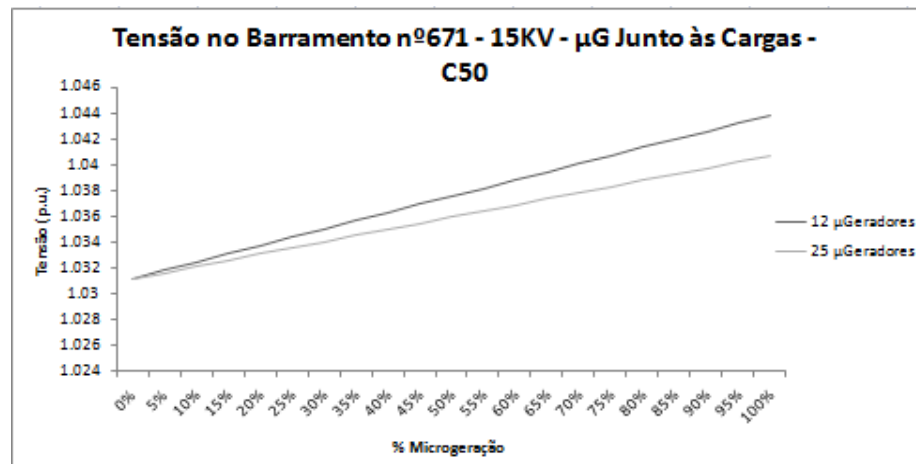
Verifica-se que a tensão média nos barramentos não depende da dispersão da microgeração pois os resultados obtidos nos cenários com microgeração em 12 e 25 barramentos são idênticos, seja qual for o cenário de carga.



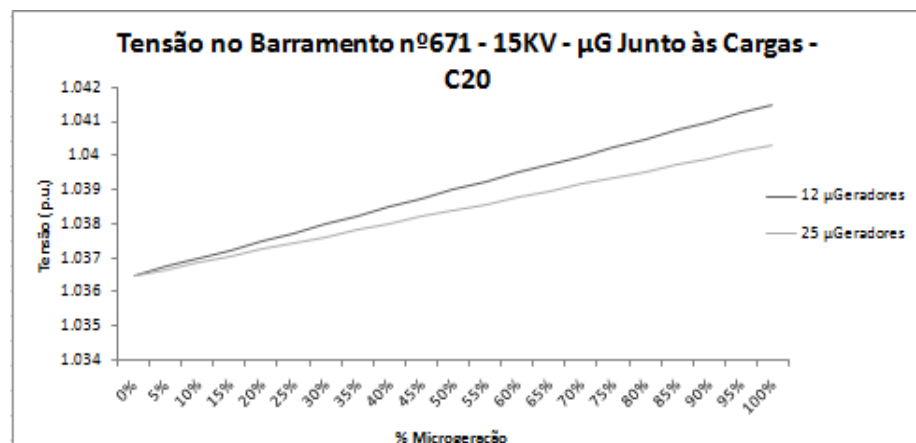
**Figura 4.83** - Rede MT Urbana - Comparação da Tensão no Barramento nº671 - Cenários C140 e Junto Cargas



**Figura 4.84** - Rede MT Urbana - Comparação da Tensão no Barramento nº671 - Cenários C100 e Junto Cargas



**Figura 4.85** - Rede MT Urbana - Comparação da Tensão no Barramento nº671 - Cenários C50 e Junto Cargas



**Figura 4.86** - Rede MT Urbana - Comparação da Tensão no Barramento nº671 - Cenários C20 e Junto Cargas

Para o barramento nº671 verifica-se que aumenta a penetração de microgeração nas redes conduz à obtenção de melhores resultados nos cenários onde os microgeradores estão em maior número de barramentos.

Pode-se então concluir que o facto de a microgeração estar mais espalhada pelos barramentos não contribui de forma significativa para a obtenção de melhores resultados nos Perfis de Tensão. Porém esta dispersão pode contribuir para melhorar os Perfis de Tensão de alguns barramentos.

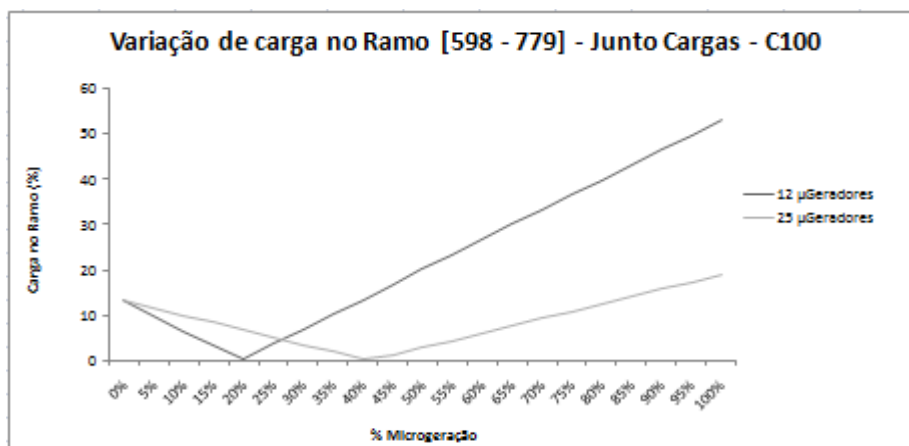
#### 4.7.4- Percentagem de Carga nos Ramos

Da Figura 4.87 à figura 4.91 é sumariado o impacto que a dispersão da microgeração tem na percentagem de Carga dos Ramos da rede de distribuição simulada.

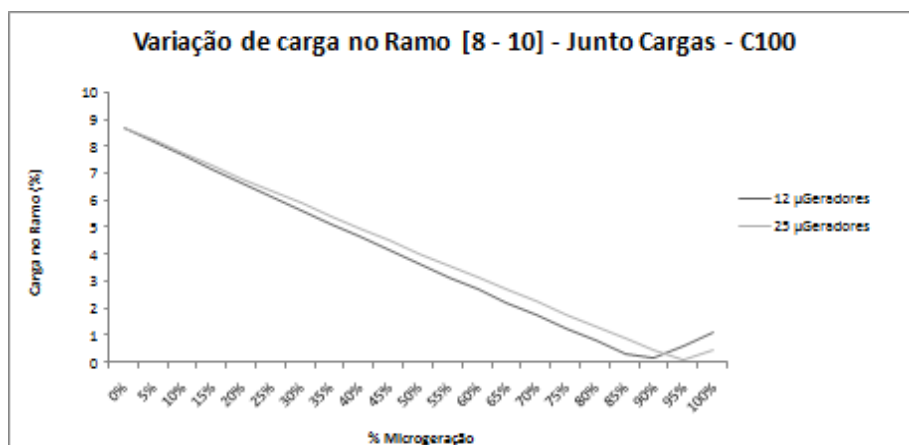
Verifica-se que quanto mais dispersa pelos barramentos estiver a microgeração menores são as percentagens de Carga nos ramos.

Verifica-se que, excepto o ramo (8-10), o caso de estudo onde se admite existência de microgeração em 25 barramentos permite uma redução da carga nos ramos. Isto faz todo o sentido pois quanto mais espalhada estiver a microgeração mais espalhados estão os fluxos pelos ramos e portanto menores serão as cargas destes.

Concluindo, verifica-se que o aumento da dispersão da microgeração contribui, em regra geral, para uma redução das percentagens de Carga dos Ramos das redes de distribuição.



**Figura 4.87** - Rede MT Urbana - Comparação da Percentagem de Carga no Ramo 598-779 - cenários C100 e Junto Cargas



**Figura 4.88** - Rede MT Urbana - Comparação da Percentagem de Carga no Ramo 8-10 - cenários C100 e Junto Cargas

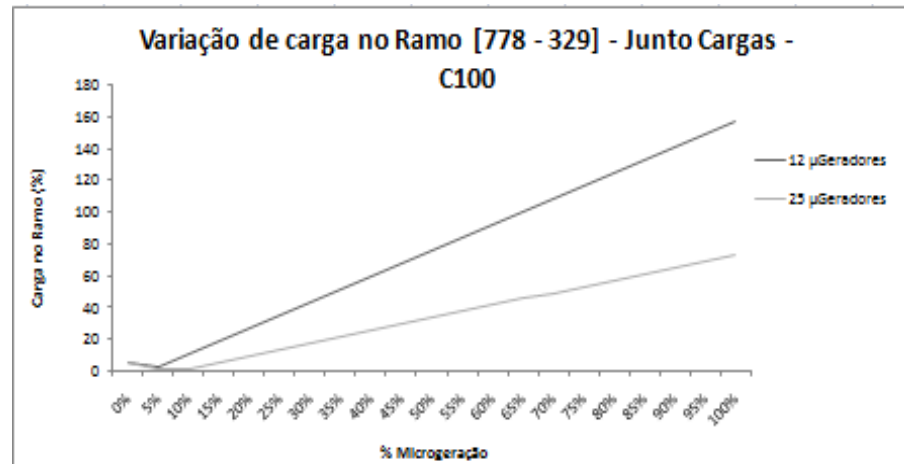


Figura 4.89 - Comparação da Percentagem de Carga no Ramo 778-329 - cenários C100 e Junto Cargas

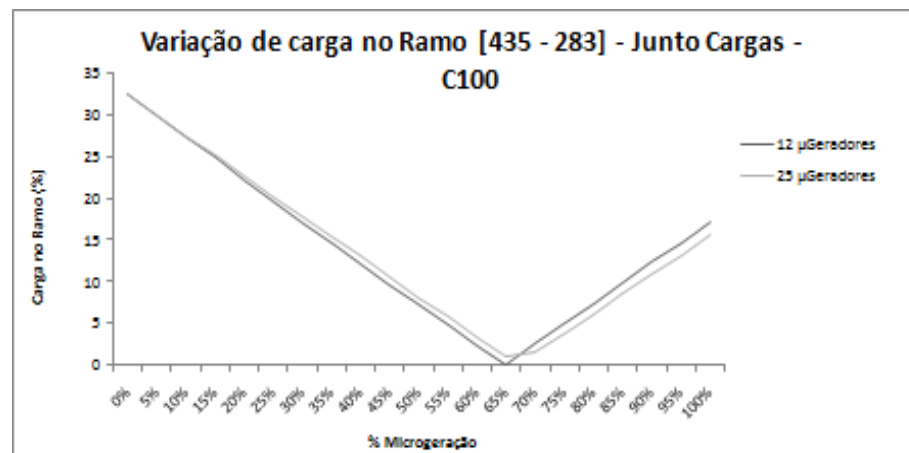


Figura 4.90 - Comparação da Percentagem de Carga no Ramo 435-283 - cenário C100 e Junto Cargas

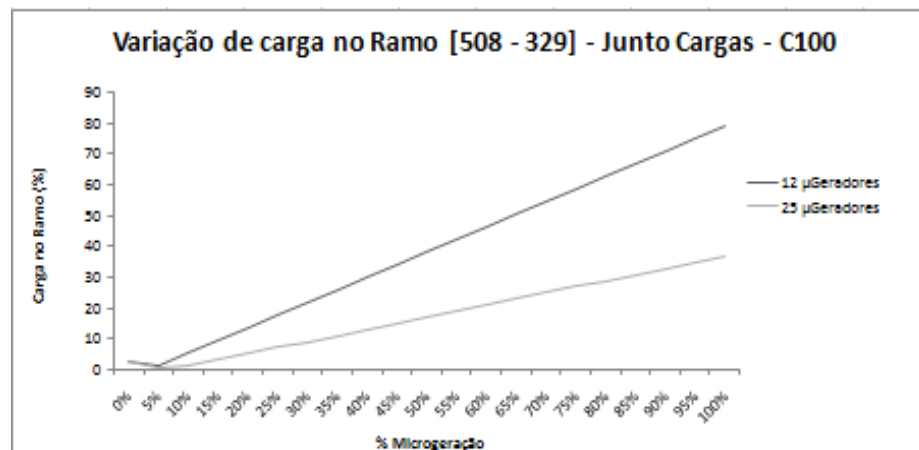


Figura 4.91 - Comparação da Percentagem de Carga no Ramo 508-329 - cenário C100 e Junto Cargas

## 4.8 - Análise de algumas condições de Licenciamento

Como foi anteriormente referido, em Portugal a microgeração adquire cada vez mais um papel decisivo no tocante à produção de energia eléctrica podendo contribuir para uma alteração do panorama energético de forte dependência do exterior.

Para além disso, ao longo estudos precedentes onde foram analisados os efeitos da Microgeração em redes de Distribuição, foi possível constatar que um aumento da microgeração até valores de penetração de aproximadamente 50% traz vantagens para as redes de distribuição conseguindo-se obter reduções significativas para o valor das perdas, nivelar as tensões nos barramentos e ainda diminuir as cargas dos ramos mais carregados das redes adiando assim investimentos no reforço das infra-estruturas.

Contudo, factores como os elevados custos inerentes à tecnologia e a falta de recursos humanos especializados fazem com que na actualidade a percentagem de penetração de microgeração nas redes de distribuição seja ainda muito reduzida e como tal que apenas uma pequena percentagem destas vantagens seja explorada. Para inverter este cenário será importante apostar cada vez mais na promoção da microgeração recorrendo quer ao uso de Programas de Incentivo, quer à concessão de benefícios fiscais.

Uma outra forma de aumentar a presença de microgeração nas redes passa pela criação de Leis que por um lado se adequem às necessidades e que, por outro lado, constituam um incentivo ao uso destas tecnologias.

Foi neste âmbito, que em 2007 o Governo aprovou um novo regime de microprodução (Decreto-Lei n.º363/2007) segundo o qual, os clientes residenciais podem produzir electricidade em suas casas através de unidades de microgeração até um valor máximo de Potência de Ligação de 5,75 kW, para o regime geral, e de 3,68kW para o regime bonificado. No mesmo Decreto-Lei, e no que se refere à produção por parte de clientes não residenciais, é definido que o limite de produção de electricidade é extensível até 150 kW desde que a entrega da potência em excesso seja efectuada à rede pública.

Ainda de acordo com o DL n.º363/2007, os produtores de electricidade não podem injectar na RESP, no âmbito desta actividade, uma potência superior a 50% da potência contratada para a instalação eléctrica de utilização.

Na presente secção pretende-se verificar até que ponto estes limites impostos pelo DL n.º363/2007 se apresentam, ou não, como um obstáculo ao aumento da penetração da microgeração nas redes minimizando assim o impacto positivo que a microgeração tem na rede de distribuição.

O impacto dos referidos limites existentes na legislação sobre as redes de distribuição foi analisado tendo como referência as Redes MT Semi-Urbana e MT Urbana.



Para efeitos de estudo, na rede MT Semi-Urbana considerou-se a presença de unidades de microgeração num conjunto de 24 barramentos. Por outro lado, para a rede MT Urbana são consideradas duas situações distintas: uma onde se admite a existência de microgeração em 12 nós da rede; outra onde se admite a existência de microgeração em 25 nós da rede.

Na Tabela 4.5 são apresentadas algumas características das redes usadas.

Tabela 4.5 – Características das redes MT Semi-Urbana e MT Urbana

Rede	Nº Microgeradores	Nº de consumidores	Carga típica (MW)
MT Semi-Urbana	24	115	6,142
MT Urbana	12 ou 25	233	25,257

Em relação aos limites de produção foram analisados dois cenários distintos para cada uma das redes: um cenário onde se admite que todos os clientes podem e estão a produzir até um limite de 150kW (L1); outro cenário onde é admitido que todos os clientes são residências e como tal só podem produzir potências até um valor de potência de 5,75kW (L2). No estudo destes cenários admitiu-se que os valores limites de produção são atingidos em todos os barramentos com microgeração.

Os resultados obtidos para cada uma das hipóteses consideradas encontram-se apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Resultados obtidos para as diversas hipóteses de estudo consideradas

Rede	Nº de Nós com Microgeração	Cenário Limite	Potência total Microgeração (kW)	% Microgeração Rede
MT Semi-Urbana	24	L1	3600	58,6%
		L2	138	2,2%
MT Urbana	12	L1	1800	7,1%
		L2	69	0,27%
	25	L1	3750	14,8%
		L2	143,75	0,56%

Verifica-se que na Rede MT Semi-Urbana é possível obter um valor de penetração de 58,6% quando o limite de produção dos microgeradores é de 150kW. Para esta mesma rede com um limite máximo de produção de 5,75 kW o máximo de penetração possível de atingir, de acordo com o número de barramentos com microgeração, é de 2,2%.

Na rede MT Urbana nos cenários de 12 e 25 nós com microgeração verifica-se que, se a produção através de unidades de microprodução se puder alargar até ao 150 kW, se podem atingir penetrações de 7,1% e 14,8% respectivamente. Já para os cenários em que se admitiu que todos os produtores eram residenciais e que como tal tinham potência máxima de ligação de 5,75 kW verificou-se que os valores de penetração obtidos tanto no cenário de 12 como no cenário de 15 microgeradores eram extremamente baixos, ficando mesmo abaixo de 1%.

Com base nos resultados obtidos podemos afirmar que em determinadas redes o limite de produção de 150 kW é adequado pois atingir bons valores de penetração de microgeração. No entanto para outras redes este limite não parece ser o mais adequado só permitindo atingir razoáveis valores de penetração. Por outro lado, nos estudos efectuados com um limite de produção de 5,75 kW apenas é possível ter nas redes índices de penetração residuais e como tal o este limite é completamente desajustado.

Observando os resultados verifica-se que na maioria dos cenários admitidos o valor do índice de penetração fica muito longe de atingir os 50%, valor para o qual, segundo os estudos efectuados, seria possível extrair o máximo de vantagens para as redes.

Embora o número de barramentos com microgeração nos diversos cenários simulados seja bastante razoável, pode em algumas das situações estudadas justificar os baixos valores de penetração obtidos. No entanto, sobretudo para os cenários onde a produção está limitada a 5,75kW, o número de barramentos escolhidos não explica por si só os baixos valores de penetração obtida. Tal conclusão pode ser tirada da Tabela 4.7 onde é apresentada a forma como se relacionam alguns valores de penetração e o número de microgeradores nas redes MT Semi-Urbana e Urbana.

Tabela 4.7 – Relação entre percentagem de penetração e número de microgeradores em cada uma das redes

Rede	Limite de produção (kW)	% Penetração da microgeração	Número de microgeradores
MT Semi-Urbana	5,75	25	267
		50	534
	150	25	11
		50	21
MT Urbana	5,75	25	1098
		50	2197
	150	25	43
		50	84

De acordo com a Tabela 4.7 para se obter uma penetração de 25% na rede MT Semi-Urbana tendo como limite de produção 5,75kW é necessário que no mínimo 267 micro-

produtores estejam ligados à rede. Admitindo este mesmo limite, nesta rede só se poderão extrair todos os benefícios inerentes ao uso da microgeração caso 534 microgeradores estejam ligados.

Por outro lado, admitindo um limite de 150kW verifica-se que “bastam” 21 micro-produtores para que um índice de 50% de penetração seja atingido.

Para a rede MT urbana verifica-se que, a presença de 1098 micro produtores permitirá no máximo uma penetração da microgeração de 25%. Verifica-se que o cenário ideal para a rede (50% de penetração) só seria atingível com a ligação de 2197 unidades de microgeração.

Com um limite de produção de 150kW, para que na rede MT Urbana se tivesse uma percentagem de microgeração na ordem dos 25% seria necessário ter 43 clientes-produtores ligados à rede. Nesta rede a obtenção de um cenário de 50% de penetração na rede, obrigaria a que pelo menos 84 clientes injectassem 150kW de potência na rede.

Cruzando todos estes dados podemos afirmar que o limite de 5,75kW é muito limitado, pois só com números elevadíssimos de microgeradores poderiam ser atingidos valores interessantes de penetração nas redes. Contudo, o valor limite de 150kW permite que em algumas redes valores bons de penetração sejam alcançados. No entanto, para que bons valores de penetração sejam atingidos nas redes em geral este valor limite deve ser alargado.

Em jeito de conclusão podemos então afirmar que os actuais limites de produção definidos pela legislação em vigor estão claramente abaixo do esperado limitando os efeitos positivos da microgeração nas redes de distribuição. Neste sentido estes limites devem ser revistos em alta, para que desta forma estejam adaptadas não só as necessidades dos clientes mas também às necessidades das redes de distribuição.



# Capítulo 5

## Conclusões

Com esta dissertação pretendem-se analisar os efeitos da Microgeração em diferentes redes de distribuição de modo a que os resultados obtidos constituam uma mais-valia para uma possível alteração das actuais condições de licenciamento.

Para tal fizeram-se três estudos:

- um primeiro estudo que pretendia analisar de forma generalizada os efeitos que a Microgeração tem nos índices de qualidade das redes
- um segundo estudo com a pretensão de analisar os efeitos da localização da Microgeração nos índices de qualidade das redes.
- um terceiro estudo que tinha como objectivo analisar de que forma uma maior ou menor Dispersão da Microgeração pela rede pode influenciar os índices de qualidade das redes.

Para simular os efeitos gerais da Microgeração, simularam-se várias redes de distribuição com diferentes níveis de penetração de Microgeração, e analisaram-se os efeitos que a Microgeração, tem nos índices de qualidade das redes.

Para simular o efeito da localização da Microgeração consideraram-se vários cenários de localização da Microgeração (dois aleatórios, um perto da injeção e outro perto das cargas).

Para simular o efeito da dispersão da Microgeração consideraram-se dois cenários (um com microgeração em 12 barramentos, outro com microgeração em 25 barramentos).

Verifica-se, em termos gerais, que para níveis de penetração até aproximadamente 50% a Microgeração contribui favoravelmente para a redução de perdas Activas e Reactivas, redução da percentagem de carga nos ramos e aumento da tensão nos barramentos.

Relativamente à localização da Microgeração verifica-se que até aproximadamente 50% de penetração da microgeração, quanto mais afastados os micro geradores estão das subestações maior é a redução das perdas comparada com o caso base (0% de Microgeração).

Verifica-se que os valores da tensão são mais elevados nos casos em que a microgeração se encontra mais afastada das subestações.

Conclui-se que a Microgeração pode ou não influenciar a percentagem de carga nos ramos mais carregados, dependendo do facto dos ramos alimentarem os nós onde se encontram ligados os microgeradores. No entanto, não é possível extrair conclusões gerais sobre os benefícios eventuais da localização da Microgeração ser perto ou longe das cargas. Dependerá, isso sim, dos microgeradores estarem (ou não) conectados aos ramos mais carregados.

Relativamente à Dispersão da Microgeração verifica-se que quanto mais dispersa estiver a Microgeração maior é a redução das perdas.

Verifica-se que a Dispersão não tem influência sobre as tensões médias dos barramentos, podendo interferir no entanto em alguns barramentos específicos.

Conclui-se que uma maior Dispersão da Microgeração contribui para uma redução da percentagem de Carga nos Ramos.

Em termos gerais, conclui-se que algumas das condições de licenciamento devem ser revistas, uma vez que alguns dos seus limites não permitem que se retirem todos os benefícios associados à microgeração. A determinação destes eventuais novos limites poderá ser objecto de futuros desenvolvimentos do trabalho apresentado nesta dissertação. Nestes futuros trabalhos deverão ser testadas outras redes e outras condições de exploração como forma de consolidar os resultados obtidos. Além disso, deverão também ser analisados outros indicadores de qualidade tais como o impacto na fiabilidade, a segurança de abastecimento e as emissões evitadas.

## Referências

- [1] “Renewable Resources and Renewable Energy - A global Challenge” - Mauro Graziani e Paolo Fornasiero, CRC Press, 2007.
- [2] Portal do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), “4th Assessment Report (IPCC 2007)”, Disponível em [www.ipcc.ch/pdf/assessment-report](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report). Acesso em Março 2009.
- [3] Portal Comciencia, Mudanças Climáticas. “O Aquecimento Global e a Agricultura”, disponível em <http://www.comciencia.br/reportagens/clima/clima16.htm>. Acesso em Março 2009.
- [4] Portal Comciencia, Mudanças Climáticas. “Aquecimento global já pode ser sentido” <http://www.comciencia.br/reportagens/clima/clima06.htm>. Acesso em Março 2009
- [5] Portal da Comunidade Europeia, Sumários de Legislação. “Directiva 2001/77/EC”, Disponível em <http://eur-lex.europa.eu/>. Acesso em Março 2009.
- [6] Portal da Comunidade Europeia, Sumários de legislação. “Directiva 2009/28/CE”. Site da <http://eur-lex.europa.eu/> . Acesso em Março 2009.
- [7] Direcção Geral de Energia e Geologia, “*Renováveis: Estatísticas Rápidas*”, Março 2009, disponível em [www.dgge.pt](http://www.dgge.pt), acesso em Abril de 2009.
- [8] “*Renewable Energy Resources*” John Twidell e Tony Weir, 2006.
- [9] Direcção-Geral de Energia e Geologia, Política Energética, “*Caracterização Energética*” disponível em <http://www.dgge.pt/>, acesso em Abril de 2009.
- [10] Portal do jornal “Público”, Última hora, “Central solar de Serpa é meta importante para Portugal atingir metas nas Renováveis”, disponível em <http://ultimahora.publico.clx.pt/noticia.aspx?id=1289635&idCanal=68>. Acesso em Março 2009.
- [11] Portal do jornal on-line “A Página”, “Energias Renováveis: Um Potencial Desaproveitado”, disponível em <http://www.apagina.pt/arquivo>. Acesso em Março 2009

- [12] Ministério da Economia e da Inovação, Publicações e Centros de documentação, “Energias Renováveis em Portugal”, disponível em [www.min-economia.pt](http://www.min-economia.pt). Acesso em Abril 2009
- [13] Direcção-Geral de Energia e Geologia, Publicações, “Energias Renováveis em Portugal” disponível em <http://www.dgge.pt/>, acesso em Abril de 2009.
- [14] Portal Wikipédia, “Protocolo de Quioto” disponível em [http://pt.wikipedia.org/wiki/Protocolo\\_de\\_Quioto](http://pt.wikipedia.org/wiki/Protocolo_de_Quioto). Acesso em Abril 2009.
- [15] Portal do jornal Público, “Cronologia do Protocolo de Quioto”, disponível em <http://dossiers.publico.clx.pt/noticia.aspx?idCanal=309&id=67894>. Acesso em Abril 2009.
- [16] Portal da Comunidade Europeia, “*The Renewable Energy Progress Report*”, SEC (2009) 503 final, disponível em <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0192:FIN:EN:PDF>. Acesso em Maio 2009.
- [17] Portal da Comunidade Europeia, “Relatório sobre os progressos em electricidade renovável”, COM (2006) 849 disponível em <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0849:FIN:PT:PDF>. Acesso em Abril 2009.
- [18] Portal Europa, Sínteses da Legislação da UE, Energia, Energias Renováveis, “Roteiro das Energias Renováveis”, disponível em [http://europa.eu/legislation\\_summaries/energy/renewable\\_energy/l27065\\_pt.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/energy/renewable_energy/l27065_pt.htm). Acesso em Abril 2009.
- [19] Portal da Comunidade Europeia, “Relatório sobre os Progressos em Energias Renováveis” COM (2009) 192 final, disponível em <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0192:FIN:PT:PDF>. Acesso em Maio 2009.
- [20] Portal Comciencia, Mudanças Climáticas. “Mudança Climática e Energias Renováveis”, disponível em <http://www.comciencia.br/reportagens/clima/clima12.htm>. Acesso em Março 2009.
- [21] Portal da Comunidade Europeia, “Progressos na Realização dos Objectivos de Quioto”, COM (2008) 651 final, disponível em <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0651:FIN:PT:PDF>. Acesso em Maio 2009.
- [22] Energias de Portugal (EDP), Sustentabilidade, Protocolo de Quioto, disponível em <http://www.edp.pt/EDPI/Internet/PT/Group/Sustainability>. Acesso em Abril 2009.
- [23] Diário de Notícias, Portugal, “UE vai conseguir cumprir Quioto”, disponível em [http://dn.sapo.pt/inicio/portugal/interior.aspx?content\\_id=1249454](http://dn.sapo.pt/inicio/portugal/interior.aspx?content_id=1249454). Acesso Abril 2009.
- [24] Portal da Comunidade Europeia, Energia, Energias Renováveis, Estados Membros, “Portugal - Folha de dados sobre energias renováveis”, disponível em



[http://ec.europa.eu/energy/res/legislation/electricity\\_member\\_states\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/res/legislation/electricity_member_states_en.htm).

Acesso em Abril 2009.

- [25] M. Fernanda T. Moreira, Júlio S. Martins, João L. Afonso, “Medidas Reguladoras, Normas e Legislação Portuguesa Aplicável às Energias Renováveis e Sugestões”, Maio de 2004.
- [26] Decreto-Lei n.º 80/2006, de 21 de Abril de 2006.
- [27] Lei nº 57/2005, de 13 de Dezembro de 2005.
- [28] Lei nº 22-A/2007, de 29 de Junho de 2007.
- [29] Ministério da Economia e Inovação, Publicações e Centros de Documentação, “Política Energética - Vol.II”, 2007, disponível em [www.min-economia.pt](http://www.min-economia.pt). Acesso em Abril 2009.
- [30] Governo de Portugal, Governos, Ministérios, “Micro-geração: mudança de paradigma do sistema eléctrico”, 2007, disponível em [www.portugal.gov.pt](http://www.portugal.gov.pt). Acesso em Maio 2009.
- [31] Rede Eléctrica Nacional, Electricidade, Cadeia de Valor, disponível em [www.ren.pt](http://www.ren.pt). Acesso em Abril 2009.
- [32] Energias de Portugal (EDP), Grupo EDP, Sector da Energia, Sistema Eléctrico Português, disponível em <http://www.edp.pt>. Acesso em Abril 2009.
- [33] Decreto-Lei nº 363/2007 de Dezembro de 2007.
- [34] Portal do INESC Porto, Unidade de Sistemas de Energia, Nós na imprensa, “Microgeração vai criar mercado de mil milhões”, disponível em <http://www2.inescporto.pt>. Acesso em Maio 2009.
- [35] Portal do INESC Porto, Unidade de Sistemas de Energia, Nós na imprensa, “Democracia Energética”, disponível em <http://www2.inescporto.pt>. Acesso em Maio 2009.
- [36] Associação Portuguesa de Energias Renováveis, Legislação, “Novo Decreto-Lei da Microgeração”, disponível em <http://www.apren.pt/>. Acesso em Maio 2009.
- [37] S. M. Silva, J. N. Fidalgo, J. A. Peças Lopes, “*Analysis of Micro Generation Impacts in Distribution Networks*”, Actas 9, CHLIE’2005 9 CHLIE - 9º Congresso Hispano-Luso de Ingenieria Eléctrica 2005, Marbella, España, Julho, 2005.
- [38] P. Chiradeja, R. Ramakumar, “*An Approach to Quantify the Technical Benefits of Distributed Generation*”, IEEE Transactions On Energy Conversion, Vol. 19, No. 4, December 2004.
- [39] P. Chiradeja, R. Ramakumar, “*Voltage Profile Improvement with Distributed Wind Turbine Generation - A Case Study*”, Power Engineering Society General Meeting, 2003, IEEE, Volume 4, 13-17 July 2003.

- [40] T. Tran-Quoc, C. Andrieu, N. Hadjsaid, "*Technical impacts of Small Dispersed Generation units on LV networks*", Power Engineering Society General Meeting, 2003, IEEE, Volume 4, 13-17 July 2003.
- [41] J. Oyarzabal, et al., "*DI3 - Report on Socio-Economic Evaluation of MicroGrids*", MicroGrids Project, Deliverable, 2005.
- [42] T. Griffin, K. Tomsovic, D. Secrest, A. Law, "*Placement of Dispersed Generations Systems for Reduced Losses*", System Sciences, 2000. Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on January 4-7 2000, pp. 9.
- [43] G. Celli, F. Pilo, "*Optimal Distributed Generation Allocation in MV Distribution Networks*", Power Industry Computer Applications, 2001. PICA 2001. Innovative Computing for Power - Electric Energy Meets the Market. 22nd IEEE Power Engineering Society International Conference on 20-24 May 2001, pp. 81 - 86.
- [44] M. Gandomkar, M. Vakilian, M. Ehsan, "*Optimal Distributed Generation Allocation in Distribution Network Using Hereford Ranch Algorithm*", Electrical Machines and Systems, 2005. ICEMS 2005. Proceedings of the Eighth International Conference on Volume 2, 2005, pp. 916 - 918.

## Anexo I - Decreto-Lei n.º 363/2007

### MINISTÉRIO DA ECONOMIA E DA INOVAÇÃO Decreto-Lei n.º 363/2007 de 2 de Novembro

O Decreto-Lei n.º 29/2006, de 15 de Março, veio estabelecer as bases gerais de organização e funcionamento do Sistema Eléctrico Nacional (SEN), classificando a produção de electricidade em regime ordinário e em regime especial. Ao regime especial corresponde a produção de electricidade com incentivos à utilização de recursos endógenos e renováveis ou a produção combinada de calor e electricidade.

Independentemente da revisão dos regimes aplicáveis às energias renováveis e à co-geração, entendeu o Governo avançar, desde já, com um regime simplificado aplicável à micro produção de electricidade, também designado por renováveis na hora conforme previsto no Programa de Simplificação Administrativa e Legislativa SIMPLEX 2007.

A micro produção de electricidade, como actividade de produção de electricidade em baixa tensão com possibilidade de entrega de energia à rede eléctrica pública, foi regulada pelo Decreto -Lei n.º 68/2002, de 25 de Março. O presente decreto-lei prevê que a electricidade produzida se destine predominantemente a consumo próprio, sendo o excedente passível de ser entregue a terceiros ou à rede pública, com o limite de 150 kW de potência no caso de a entrega ser efectuada à rede pública.

Passados que são mais de cinco anos desde a entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 68/2002, de 25 de Março, verifica -se que o número de sistemas de micro geração de electricidade licenciados e a funcionar ao abrigo deste enquadramento legal não atingiu uma expressão significativa.

Por outro lado, o Decreto -Lei n.º 312/2001, de 10 de Dezembro, estabeleceu as disposições aplicáveis à gestão da capacidade de recepção de electricidade nas redes do Sistema Eléctrico de Serviço Público (SEP), por forma a permitir a recepção e a entrega de electricidade proveniente de novos centros electroprodutores do Sistema Eléctrico Independente (SEI). Contudo, esse decreto-lei aplica-se a todos os centros electroprodutores,

independentemente da sua potência nominal ou localização geográfica, conduzindo, assim, a uma excessiva centralização administrativa dos processos de licenciamento de micro ou pequena ou microdimensão.

Assim, desta forma, o presente decreto -lei vem simplificar significativamente o regime de licenciamento existente, substituindo -o por um regime de simples registo, sujeito a inspecção de conformidade técnica. A entrega e a análise de projecto são substituídas pela criação de uma base de dados de elementos -tipo preexistente que o produtor deve respeitar, encurtando -se um procedimento com duração de vários meses a um simples registo electrónico.

É criado o Sistema de Registo da Micro produção (SRM), que constitui uma plataforma electrónica de interacção com os produtores, no qual todo o relacionamento com a Administração, necessário para exercer a actividade de microprodutor, poderá ser realizado.

É ainda previsto um regime simplificado de facturação e de relacionamento comercial, evitando -se a emissão de facturas e acertos de IVA pelos particulares, que, para esse efeito, são substituídos pelos comercializadores. O microprodutor recebe ou paga através de uma única transacção, pelo valor líquido dos recebimentos relativos à electricidade produzida e dos pagamentos relativos à electricidade consumida.

O presente decreto -lei cria, também, dois regimes de remuneração: o regime geral e o bonificado. O primeiro para a generalidade das instalações e o segundo apenas aplicável às fontes renováveis de energia, cujo acesso é condicionado à existência no local de consumo de colectores solares térmicos, no caso de produtores individuais, e da realização de auditoria energética e respectivas medidas, no caso de condomínios. O incentivo associado à venda de electricidade é, assim, utilizado para promover a água quente solar, complementando o Decreto -Lei n.º 80/2006, de 21 de Abril, que estabelece a obrigatoriedade de instalação destes sistemas nos novos edifícios.

Este decreto -lei vem dar expressão a duas das medidas contempladas na Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2005, de 24 de Outubro, que aprova a Estratégia Nacional para a Energia, no que respeita às linhas de orientação política sobre renováveis e eficiência energética.

Foram ouvidos os órgãos de governo próprio das Regiões Autónomas, a Associação Nacional de Municípios Portugueses e as associações de consumidores.

Foi promovida a audição do Conselho Nacional do Consumo.

Foram ouvidos, a título facultativo, a Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos e a Associação do Sector das Energias Renováveis.

Assim:

Nos termos da alínea a) do n.º 1 do artigo 198.º da Constituição, o Governo decreta o seguinte:

## CAPÍTULO I

### Disposições gerais

#### Artigo 1.º

##### Objecto

O presente decreto -lei estabelece o regime jurídico aplicável à produção de electricidade por intermédio de instalações de pequena potência, adiante designadas por unidades de microprodução.

#### Artigo 2.º

##### Siglas e definições

Para efeitos do presente decreto -lei, são utilizadas as seguintes siglas e definições:

- a) «Comercializador» a entidade titular da licença de comercialização de electricidade;
- b) «Comercializador de último recurso» a entidade titular de licença de comercialização de electricidade sujeita a obrigações de serviço universal;
- c) «DGEG» a Direcção -Geral de Energia e Geologia;
- d) «DRE» a direcção regional de economia competente;
- e) «Potência contratada» o limite da potência estabelecida no dispositivo controlador da potência de consumo;
- f) «Potência instalada» a potência, em quilowatt, dos equipamentos de produção de electricidade;
- g) «Potência de ligação» a potência máxima, em quilowatt, que o produtor pode injectar na Rede Eléctrica de Serviço Público (RESP), que no caso de instalações com inversor é equivalente à potência instalada máxima deste equipamento;
- h) «Ponto de ligação» o ponto que liga a unidade de microprodução à RESP;
- i) «Produtor» a entidade que produz electricidade por intermédio de uma unidade de microprodução;
- j) «RESP» a Rede Eléctrica de Serviço Público;
- l) «SRM» o Sistema de Registo de Microprodução, que constitui uma plataforma electrónica de interacção entre a Administração Pública e os produtores;
- m) «Unidades do grupo I» a instalação de produção de electricidade monofásica em baixa tensão com potência de ligação até 5,75 kW.

#### Artigo 3.º

##### Âmbito

O presente decreto -lei aplica -se às unidades de grupo I, quer utilizem recursos renováveis como energia primária quer produzam, combinadamente, electricidade e calor.

#### Artigo 4.º

##### **Acesso à actividade de produção**

1 — Podem ser produtores de electricidade por intermédio de unidades de microprodução todas as entidades que disponham de um contrato de compra de electricidade em baixa tensão.

2 — A unidade de micro produção deve ser integrada no local da instalação eléctrica de utilização.

3 — Os produtores de electricidade nos termos do presente decreto -lei não podem injectar na RESP, no âmbito desta actividade, uma potência superior a 50 % da potência contratada para a instalação eléctrica de utilização.

4 — O limite estabelecido no número anterior não é aplicável às instalações eléctricas de utilização em nome de condomínios.

5 — O acesso à actividade de micro produção é sujeito a registo no SRM nos termos do artigo 13.º

6 — O acesso à actividade de micro produção pode ser restringido mediante comunicação pelo operador da rede de distribuição, nos casos em que a instalação de utilização esteja ligada a um posto de transformação cujo somatório da potência dos registos aí ligados ultrapasse o limite de 25 % da potência do respectivo posto de transformação.

7 — A restrição prevista no número anterior é aplicável apenas aos pedidos de registo recebidos pelo SRM após cinco dias úteis da comunicação pelo operador da rede de distribuição ao SRM das instalações eléctricas de utilização abrangidas.

#### Artigo 5.º

##### **Direitos do produtor**

No âmbito do exercício da actividade de produção de electricidade, o produtor tem o direito de:

a) Estabelecer uma unidade de micro produção por cada instalação eléctrica de utilização;

b) Ligar a unidade de micro produção à RESP, após a emissão do certificado de exploração e celebração do respectivo contrato de compra e venda de electricidade, nos termos do artigo 19.º;

c) Vender a totalidade da electricidade produzida pela potência permitida nos termos do artigo 4.º, líquida dos serviços auxiliares.

#### Artigo 6.º

##### **Deveres do produtor**

Sem prejuízo do cumprimento da legislação e regulamentação aplicáveis, o produtor deve:

a) Entregar a electricidade em conformidade com as normas técnicas aplicáveis e de modo a não causar perturbação no normal funcionamento da rede pública de distribuição em baixa tensão (BT);

b) Produzir electricidade apenas a partir da fonte de energia registada nos termos do presente decreto -lei;

c) Consumir o calor produzido no caso de equipamentos de produção combinada de electricidade e de calor;

d) Celebrar um contrato de compra e venda de electricidade, nos termos do artigo 19.º;

e) Prestar à DGEG, ou a entidade com competências delegadas por esta, à DRE territorialmente competente, ao comercializador ou ao comercializador de último recurso, consoante o caso, e ao operador da rede de distribuição todas as informações que lhe sejam solicitadas;

f) Permitir e facilitar o acesso do pessoal técnico da DGEG, ou da entidade com competências delegadas por esta, da DRE territorialmente competente, do comercializador ou do comercializador de último recurso, consoante o caso, e do operador da rede de distribuição à unidade de micro produção, no âmbito das suas competências, para efeitos do presente decreto -lei;

g) Suportar os custos da ligação à RESP, nos termos do Regulamento de Relações Comerciais, incluindo o respectivo contador de venda;

h) No caso de instalações que utilizem a energia eólica, ou que estejam localizadas em locais de livre acesso ao público, possuir um seguro de responsabilidade civil, nos termos a definir mediante portaria conjunta dos membros do Governo responsáveis pelas áreas das finanças e da economia.

#### Artigo 7.º

##### **Competências da DGEG**

1 — Compete à DGEG a coordenação do processo de gestão da micro produção, nomeadamente:

a) Criar, manter e gerir o SRM destinado ao registo das unidades de micro produção, com informação do respectivo titular e instalador, assim como das inspecções necessárias à emissão do certificado de exploração;

b) Realizar as inspecções necessárias à emissão do certificado de exploração, directamente ou através de técnicos contratados para o efeito;

c) Emitir o certificado de exploração da instalação de micro produção;

d) Criar e manter uma base de dados de elementos -tipo, que integrem os equipamentos para as diversas soluções de unidades de micro produção;

e) Manter a lista das entidades instaladoras devidamente actualizada;

f) Constituir uma bolsa de equipamentos certificados, mantendo uma lista actualizada no sítio da Internet da DGEG ou da entidade com competências delegadas por esta;

g) Regulamentar os procedimentos aplicáveis à implementação da micro produção, definindo, designadamente, tipos de relatórios e formulários que devam ser preenchidos e apresentados em formato electrónico no sítio da Internet da DGEG, ou da entidade com competências delegadas por esta;

h) Fornecer aos interessados e divulgar no sítio da Internet da DGEG, ou da entidade com competências delegadas por esta, informação relativamente às diversas soluções de produção de electricidade e de aquecimento, designadamente as suas vantagens e inconvenientes;

i) Realizar campanhas de sensibilização para as soluções de água quente solar e outras equivalentes renováveis ou de elevada eficiência.

2 — O director -geral da DGEG pode delegar as competências previstas nas alíneas a) a f) do número anterior em entidade legalmente constituída e reconhecida para aprovar projectos e inspecionar e certificar instalações eléctricas, pelo prazo de quatro anos renováveis, nos termos de protocolo a celebrar entre estas entidades e homologado pelo membro do Governo responsável pela área da economia.

3 — O director -geral de Energia e Geologia pode aprovar, mediante despacho publicado no *Diário da República*, regras técnicas específicas para as instalações de microprodução que se justifiquem para o adequado funcionamento do sistema.

## Artigo 8.º

### Actividade de instalação

1 — Podem exercer a actividade de instalação de unidades de micro produção empresários em nome individual ou sociedades comerciais, com alvará ou título de registo no InCI, Instituto da Construção e do Imobiliário, I. P., para a execução de instalações de produção de electricidade.

2 — Todas as entidades instaladoras, empresários em nome individual ou sociedades comerciais, que pretendam exercer a actividade de instalação de unidades de micro produção, devem proceder ao seu registo no SRM, mediante o preenchimento de formulário electrónico a aprovar por despacho do director -geral de Energia e Geologia disponibilizado no sítio da Internet da DGEG ou da entidade com competências delegadas por esta.

3 — O registo das entidades instaladoras é válido por um período de três anos, findo o qual caduca automaticamente, salvo se estas procederem, antecipadamente, a novo registo.

4 — Cada entidade instaladora deve dispor de um técnico responsável por instalações eléctricas de serviço particular, nos termos do Decreto Regulamentar n.º 31/83, de 18 de Abril.



## CAPÍTULO II

### Remuneração e facturação

#### Artigo 9.º

##### Regimes remuneratórios

1 — Os produtores têm acesso a dois regimes remuneratórios:

a) Regime geral, aplicável a todos os que tenham acesso à actividade, nos termos do artigo 4.º;

b) Regime bonificado, para unidades de micro produção com potência de ligação até 3,68 kW que utilizem as fontes de energia previstas no n.º 5 do artigo 11.º, aplicável nas seguintes condições:

i) No caso das entidades que pretendam instalar unidades de cogeração a biomassa, desde que esta esteja integrada no aquecimento do edifício;

ii) No caso das entidades que pretendam instalar unidades de micro produção que utilizem outras fontes de energia, diferentes da prevista na subalínea anterior, desde que estas disponham de colectores solares térmicos para aquecimento de água na instalação de consumo, com um mínimo de 2 m<sup>2</sup> de área de colectores;

iii) No caso dos condomínios, desde que estes realizem uma auditoria energética ao edifício e que tenham implementado as medidas de eficiência energética identificadas nesta auditoria com período de retorno até dois anos.

2 — O acesso ao regime bonificado é realizado mediante solicitação do promotor no formulário do registo previsto no n.º 1 do artigo 13.º e verificação do cumprimento das condições previstas no número anterior no acto da inspecção, nos termos do artigo 14.º

3 — No âmbito do presente decreto -lei apenas é remunerada a energia activa entregue à RESP.

#### Artigo 10.º

##### Regime geral

1 — Todos os produtores que não obtenham acesso ao regime bonificado são considerados no regime geral.

2 — A tarifa de venda de electricidade é igual ao custo da energia do tarifário aplicável pelo comercializador de último recurso do fornecimento à instalação de consumo.

#### Artigo 11.º

##### Regime bonificado

1 — Para cada produtor no regime bonificado é definida uma tarifa única de referência aplicável à energia produzida no ano da instalação e nos cinco anos civis seguintes.

2 – A tarifa única de referência aplicável a cada produtor nos termos do número anterior é a seguinte:

a) Aos primeiros 10 MW de potência de ligação registados a nível nacional, a tarifa de referência é de € 650/MWh;

b) Por cada 10 MW adicionais de potência de ligação registada a nível nacional, a tarifa única aplicável é sucessivamente reduzida de 5 %.

3 – Após o período de 5 anos previsto no n.º 1 e durante o período adicional de 10 anos, aplica-se à instalação de micro produção, anualmente, a tarifa única correspondente à que seja aplicável, no dia 1 de Janeiro desse ano, às novas instalações que sejam equivalentes.

4 – Após o período previsto no número anterior, aplica-se à instalação de micro produção o regime geral previsto no artigo anterior.

5 – O tarifário de referência previsto no n.º 2 depende do tipo de energia renovável utilizada, mediante a aplicação das seguintes percentagens à tarifa de referência:

a) Solar – 100 %;

b) Eólica – 70 %;

c) Hídrica – 30 %;

d) Cogeração a biomassa – 30 %;

e) Pilhas de combustível com base em hidrogénio proveniente de microprodução renovável – percentagem prevista nas alíneas anteriores aplicável ao tipo de energia renovável utilizado para a produção do hidrogénio;

f) Combinação das fontes de energia previstas nas alíneas anteriores na mesma unidade – a média ponderada das percentagens individuais aplicáveis utilizando como factor de ponderação os limites máximos de energia aplicáveis nos termos previstos no n.º 6.

6 – A electricidade vendida nos termos do número anterior é limitada a 2,4 MWh/ano, no caso da alínea a) do número anterior, e a 4 MWh/ano, no caso das restantes alíneas do mesmo número, por cada quilowatt instalado.

7 – A potência de ligação registada no regime bonificado é sujeita a um limite anual.

8 – O limite previsto no número anterior é de 10 MW no ano de entrada em vigor do presente decreto-lei, sendo aumentado, anual e sucessivamente, em 20 %.

## Artigo 12.º

### **Facturação, contabilidade e relacionamento comercial**

1 – O comercializador de último recurso deve celebrar o contrato de compra e venda da electricidade resultante da micro produção, nos termos do artigo 19.º, e assegurar o seu pagamento, excepto nos casos em que o produtor opte pela celebração daquele contrato com outro comercializador.

2 — O pagamento referido no número anterior é feito directamente ao produtor, mediante transferência bancária e, sempre que possível, juntamente com os pagamentos relativos à instalação eléctrica de utilização.

3 — Sem prejuízo do disposto no número anterior, nos casos em que o produtor celebre contrato de financiamento para a aquisição da instalação de micro produção, pode optar pela realização do pagamento por parte do comercializador ou do comercializador de último recurso, consoante o caso, até 75 % do valor adquirido com a venda de electricidade, directamente à entidade financiadora, nos termos e duração previstos naquele contrato.

4 — A facturação relativa à electricidade resultante da micro produção é processada pelo comercializador ou pelo comercializador de último recurso, consoante o caso, nos termos do n.º 11 do artigo 35.º do Código do IVA, sem necessidade de acordo escrito do produtor.

5 — No caso de produtores que não se encontrem enquadrados, para efeitos de IVA, no regime normal de tributação e relativamente às transmissões de bens que venham a derivar exclusivamente da micro produção de energia eléctrica, é aplicável, com as necessárias adaptações, o regime especial de entrega de imposto previsto no artigo 10.º do Decreto -Lei n.º 122/88, de 20 de Abril, devendo os comercializadores, em sua substituição, dar cumprimento às obrigações de liquidação e entrega do imposto.

### CAPÍTULO III

#### Registo e ligação à rede

##### Artigo 13.º

##### Registo

1 — Para instalar uma unidade de micro produção, o interessado deve proceder ao seu registo no SRM, mediante o preenchimento de formulário electrónico a aprovar por despacho do director -geral de Energia e Geologia, disponibilizado no sítio da Internet da DGEG, que inclui o tipo de regime remuneratório pretendido e o comercializador com o qual pretenda celebrar o respectivo contrato de compra e venda de electricidade.

2 — O registo, em caso de correcto preenchimento do formulário e não estando ultrapassados os limites de potência previstos no n.º 7 do artigo 11.º e nos n.os 6 e 7 do artigo 4.º, é aceite, a título provisório, até ao pagamento da taxa aplicável, através de terminal Multibanco ou de sistema de *homebanking*, no prazo máximo de cinco dias úteis, com base em informação disponibilizada pelo SRM.

3 — Após o registo provisório, o requerente tem 120 dias para instalar a unidade de micro produção e requerer o certificado de exploração através do SRM, mediante o preenchimento de formulário electrónico.

4 — Em caso de incumprimento de qualquer uma das obrigações previstas nos n.os 2 e 3, o registo é anulado automaticamente.

5 — Durante o período previsto no n.º 3, podem ser solicitados pela DGEG, ou pela entidade com competências delegadas por esta, ao produtor os esclarecimentos que sejam considerados necessários para se poder efectuar a inspecção prevista no presente decreto - lei.

6 — No caso de o produtor pretender efectuar alguma alteração na sua instalação de micro produção, deve proceder a novo registo aplicável à totalidade da instalação, que substitui o anterior, mantendo -se a data da instalação inicial para efeitos da aplicação do artigo 11.º

#### Artigo 14.º

##### **Inspecção**

1 — O certificado de exploração é emitido na sequência de inspecção, que deve ser efectuada nos 20 dias subsequentes ao pedido previsto no n.º 3 do artigo anterior, com marcação de dia e hora em que a mesma se vai realizar, devendo esta ser comunicada ao produtor e técnico responsável pelos meios electrónicos disponíveis.

2 — Na inspecção é verificado se as unidades de microprodução estão executadas de acordo com o disposto no presente decreto -lei e regulamentação em vigor, se a instalação de utilização cumpre os requisitos previstos na alínea b) do n.º 1 do artigo 9.º para acesso ao regime bonificado, se o respectivo contador cumpre as especificações e está correctamente instalado e devidamente selado e são efectuados os ensaios necessários para verificar o adequado funcionamento dos equipamentos.

3 — Os ensaios previstos no número anterior destinam--se a verificar os valores fixados no prEN50438, de Julho de 2005, relativamente a máximo e mínimo de tensão, máximo e mínimo de frequência, *flicker* e harmónicas e outros que venham a ser definidos por despacho do director - geral de Energia e Geologia, previsto no n.º 3 do artigo 7.º

4 — Na inspecção deve estar sempre presente o técnico responsável por instalações eléctricas de serviço particular, ao serviço da entidade instaladora, ao qual compete esclarecer todas as dúvidas que possam ser suscitadas no acto da inspecção.

5 — Se a unidade de micro produção estiver em condições de ser ligada à RESP, é entregue pelo inspector ao produtor ou ao técnico responsável presente, no final da inspecção, o relatório de inspecção que, em caso de parecer favorável, substitui o certificado de exploração a remeter posteriormente ao produtor pela entidade responsável pelo SRM.

6 — No caso de não emissão de parecer favorável é entregue no próprio dia da inspecção uma nota com as cláusulas que devem ser cumpridas para colmatar as deficiências encontradas.

#### Artigo 15.º

##### **Segunda inspecção**

1 — Sempre que na inspecção prevista no artigo anterior sejam detectadas deficiências que ponham em perigo pessoas e bens, é necessária uma segunda inspecção para emissão do respectivo certificado de exploração.

2 — Após a data da primeira inspecção, o produtor dispõe do prazo de 30 dias para proceder às correcções necessárias e agendar nova inspecção, findo o qual fica automaticamente marcada para o 1.º dia útil seguinte ao termo daquele prazo uma segunda inspecção.

3 — A segunda inspecção prevista no presente artigo é objecto de uma taxa, que o produtor deve pagar através de terminal Multibanco ou de sistema de *homebanking*, com base em informação disponibilizada pelo SRM, antes da data prevista para a sua realização.

4 — Se na segunda inspecção se mantiverem deficiências que ponham em perigo pessoas e bens, não é autorizada a ligação à RESP da unidade de micro produção, procedendo -se, neste caso, ao cancelamento do registo da unidade de micro produção.

5 — O não pagamento da taxa prevista no n.º 3 ou a não realização da segunda inspecção nos prazos previstos no n.º 2, por motivos imputáveis ao produtor, implica também o cancelamento do registo da unidade de micro produção.

#### Artigo 16.º

##### Dispensa de inspecção

1 — Após cinco inspecções a unidades de micro produção de um mesmo instalador, cuja ligação à RESP tenha sido autorizada sem recurso a uma segunda inspecção, a entidade responsável pelo SRM pode utilizar o critério da amostragem e sorteio para a realização de inspecções.

2 — Nos casos de dispensa de inspecção previstos no número anterior, o certificado de exploração deve ser emitido pela entidade responsável pelo SRM e enviado ao produtor.

#### Artigo 17.º

##### Contagem de electricidade

1 — O sistema de contagem de electricidade e os equipamentos que asseguram a protecção da interligação devem ser colocados em local de acesso livre ao comercializador ou ao comercializador de último recurso, consoante o caso, ao operador da rede de distribuição, bem como às entidades competentes para efeitos do presente decreto -lei.

2 — A contagem da electricidade produzida é feita por telecontagem mediante contador bidireccional, ou contador que assegure a contagem líquida dos dois sentidos, autónomo do contador da instalação de consumo.

3 — Não é aplicável aos produtores de unidades de micro produção a obrigação de fornecimento de energia reactiva.

## Artigo 18.º

### **Controlo de equipamentos**

1 — Os fabricantes, importadores, seus representantes e entidades instaladoras podem comprovar junto da entidade responsável pelo SRM que os seus equipamentos estão certificados e qual a natureza da certificação, devendo aquela entidade proceder à respectiva disponibilização no seu sítio na Internet.

2 — Os produtores que instalem equipamentos cuja certificação não tenha sido previamente comprovada junto do SRM devem apresentar os respectivos certificados no acto da inspecção.

## Artigo 19.º

### **Contrato de compra e venda de electricidade e ligação à rede**

1 — Com a emissão do certificado de exploração nos termos do n.º 5 do artigo 14.º ou do n.º 2 do artigo 16.º, a entidade responsável pelo SRM notifica o comercializador com vista ao envio do contrato de compra e venda de electricidade ao respectivo produtor no prazo máximo de cinco dias úteis.

2 — O comercializador dá conhecimento, no mesmo prazo previsto no número anterior, mediante formulário electrónico disponibilizado pelo SRM, do envio do contrato previsto no número anterior.

3 — Nos casos em que o comercializador identificado no registo, nos termos do n.º 1 do artigo 13.º, comunique junto do SRM não pretender celebrar contrato de compra e venda de electricidade nos termos do presente artigo, a entidade responsável pelo SRM notifica o comercializador de último recurso para os efeitos do n.º 1, dando conhecimento ao produtor.

4 — O contrato de compra e venda de electricidade previsto no n.º 1 deve seguir o modelo de contrato a aprovar pelo director -geral de Energia e Geologia.

5 — Após a celebração do contrato previsto no número anterior, o produtor deve informar da sua celebração no sítio da Internet da entidade responsável pelo SRM, devendo esta solicitar, automaticamente, ao operador da rede de distribuição a ligação da unidade de micro produção à RESP.

6 — O operador da RESP deve proceder à ligação da unidade de micro produção, no prazo máximo de 10 dias úteis após a notificação pela entidade responsável pelo SRM.

7 — A data de ligação à rede pública deve ser actualizada pelo operador da rede de distribuição, em formulário electrónico específico para o efeito, disponibilizado pelo SRM.

## Artigo 20.º

### **Alteração de titularidade**

1 — Quando houver alteração do titular do contrato de compra e venda de electricidade do local de consumo onde está instalada a unidade de micro produção, o novo titular pode registar -se como produtor, substituindo o anterior.

2 — É permitida a transferência de uma unidade de micro produção para novo local de consumo, devendo o produtor proceder nos termos do presente decreto -lei como se tratasse de instalação nova.

3 — No caso previsto no número anterior, deve manter-se o número e a data de registo, bem como o regime remuneratório que o produtor detinha antes da alteração do local da instalação.

#### Artigo 21.º

##### **Reconhecimento de investimentos e custos**

1 — O comercializador, que celebre um contrato de compra e venda de electricidade nos termos do artigo 19.º, pode vender a electricidade adquirida ao comercializador de último recurso nas mesmas condições, nos termos a definir no Regulamento de Relações Comerciais.

2 — O reconhecimento dos custos de aquisição de energia pelo comercializador de último recurso de acordo com os regimes previstos no artigo 9.º é realizado de acordo com o estabelecido no artigo 55.º do Decreto -Lei n.º 172/2006, de 23 de Agosto, na redacção que lhe foi dada pelo Decreto-Lei n.º 264/2007, de 24 de Julho.

3 — O reconhecimento para efeitos tarifários dos investimentos e custos incorridos pelo comercializador de último recurso com a implementação ou alteração dos sistemas informáticos de facturação e outros, necessários para a execução do presente decreto -lei é realizado nos termos previstos no artigo 62.º do Decreto -Lei n.º 29/2006, de 15 de Fevereiro.

#### CAPÍTULO IV

##### **Disposições finais**

#### Artigo 22.º

##### **Monitorização e controlo**

1 — As unidades de micro produção ficam sujeitas à monitorização e controlo pela entidade responsável pelo SRM, para verificar as condições de protecção da interligação com a RESP e as características da instalação previstas no registo.

2 — A monitorização prevista no número anterior abrange anualmente pelo menos 1 % das instalações registadas, podendo as instalações ser seleccionadas por amostragem e sorteio.

3 — Para efeitos do número anterior, os produtores devem facilitar o acesso às respectivas instalações de produção à entidade responsável pelo SRM.

## Artigo 23.º

### Taxas

1 — Estão sujeitos a pagamento de taxa os seguintes actos:

- a) Registo da instalação de micro produção;
- b) Realização de uma segunda inspecção.

2 — As taxas previstas no número anterior são liquidadas à entidade responsável pelo SRM, constituindo receita desta.

3 — Os montantes das taxas são definidas por portaria do membro do Governo responsável pela área da economia, a publicar no prazo de 30 dias da entrada em vigor do presente decreto -lei.

## Artigo 24.º

### Contra -ordenações e sanções acessórias

1 — Constitui contra -ordenação punível com coima de € 500 a € 2500, no caso de pessoas singulares, e de € 1000 a € 40 000, no caso de pessoas colectivas:

- a) A violação do disposto no n.º 3 do artigo 4.º;
- b) A violação do disposto nas alíneas a) a d) do artigo 6.º;
- c) A violação do disposto nos n.os 1, 2 e 4 do artigo 8.º;
- d) Vender electricidade através do regime bonificado sem cumprir as condições estabelecidas na alínea b) do n.º 1 do artigo 9.º;
- e) A violação do disposto nos n.os 1 e 4 do artigo 12.º;
- f) A violação do disposto no n.º 6 do artigo 13.º;
- g) A ligação ou alteração da unidade de micro produção à rede de distribuição pública em inobservância ao disposto nos artigos 13.º, 14.º e 15.º;
- h) A violação do disposto nos n.os 1 e 2 do artigo 19.º

2 — Constitui contra -ordenação punível com coima de € 250 a € 1750, no caso de pessoas singulares, e de € 500 a € 20 000, no caso de pessoas colectivas:

- a) A violação do disposto nas alíneas e) e f) do artigo 6.º;
- b) A violação do disposto no n.º 3 do artigo 22.º;
- c) Solicitar a emissão do certificado de exploração nos termos do n.º 3 do artigo 13.º sem que a instalação esteja concluída.

3 — A negligência é punível, sendo os limites mínimos e máximos das coimas aplicáveis reduzidas a metade.

4 — Conjuntamente com as coimas previstas no presente artigo pode ser aplicada, em função da gravidade da infracção e da culpa do agente, a sanção acessória de perda do direito ao regime bonificado e aplicação do regime geral nos casos previstos nas alíneas a), b), d) e f) do n.º 1.



5 — A DGEG procede à instrução dos processos de contra -ordenação e sanção acessória, sendo o seu director-geral competente para a aplicação das coimas.

6 — O produto resultante da aplicação das coimas reverte em 60 % para o Estado e em 40 % para a DGEG.

#### Artigo 25.º

##### **Regiões Autónomas**

1 — O presente decreto -lei aplica -se às Regiões Autónomas, sem prejuízo das adaptações decorrentes da aplicação do disposto no número seguinte, bem como das especificidades do exercício das actividades de produção, transporte, distribuição e comercialização de electricidade nas Regiões Autónomas.

2 — As competências cometidas pelo presente decreto-lei à DGEG, ou a entidade com competências delegadas por esta, e a serviços ou outros organismos da administração central são exercidas pelos correspondentes serviços e organismos das administrações regionais com idênticas atribuições e competências, ou pelas entidades com competências delegadas por estes, sem prejuízo das competências de outras entidades de actuação com âmbito nacional.

#### Artigo 26.º

##### **Legislação aplicável**

Sem prejuízo do disposto no artigo 21.º, não se aplicam os regimes constantes do Decreto -Lei n.º 68/2002, de 25 de Março, e do Decreto -Lei n.º 312/2001, de 10 de Dezembro.

#### Artigo 27.º

##### **Entrada em vigor**

O presente decreto -lei entra em vigor 90 dias após a data da sua publicação.

Visto e aprovado em Conselho de Ministros de 13 de Setembro de 2007. — *José Sócrates Carvalho Pinto de Sousa — Fernando Teixeira dos Santos — Alberto Bernardes Costa — Francisco Carlos da Graça Nunes Correia — António José de Castro Guerra.*

Promulgado em 19 de Outubro de 2007.

Publique -se.

O Presidente da República, ANÍBAL CAVACO SILVA.

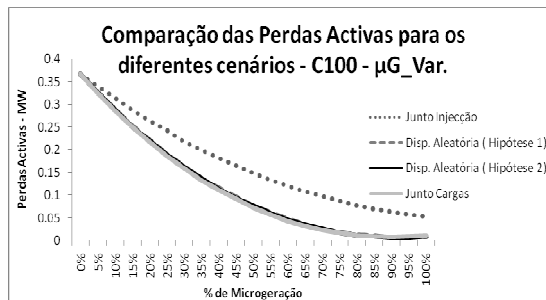
Referendado em 25 de Outubro de 2007.

O Primeiro -Ministro, *José Sócrates Carvalho Pinto de Sousa.*

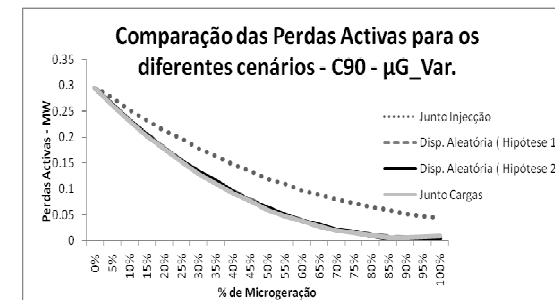
## Anexo II - Efeitos da Localização da Microgeração

Os resultados das simulações efectuadas na rede MT Semi-Urbana são a seguir apresentados:

- **Perdas Activas:**



**Figura A.1** - Comparação das Perdas Activas - cenário C100



**Figura A.2** - Comparação das Perdas Activas - cenário C90

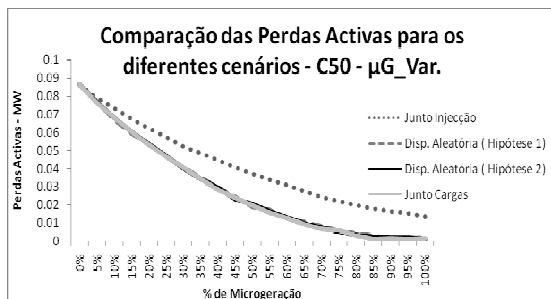


Figura A.3 - Comparação das Perdas Activas - cenário C100

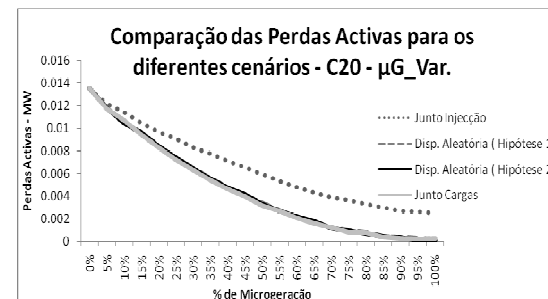


Figura A.4 - Comparação das Perdas Activas - cenário C90

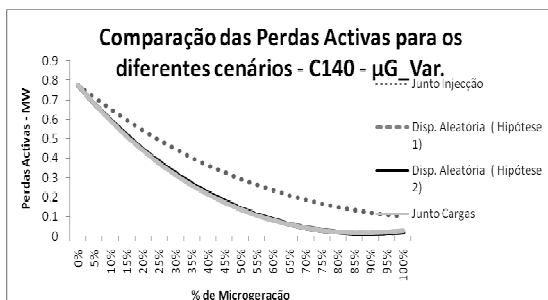


Figura A.5 - Comparação das Perdas Activas - cenário C140

- Perdas Reactivas:

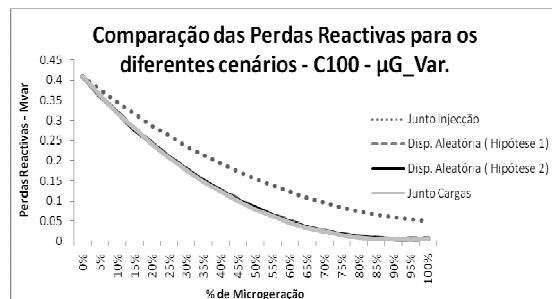


Figura A.6 - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C100

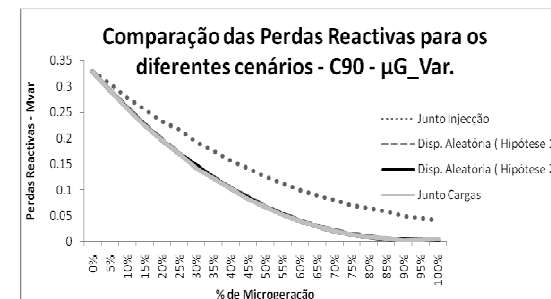


Figura A.7 - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C90

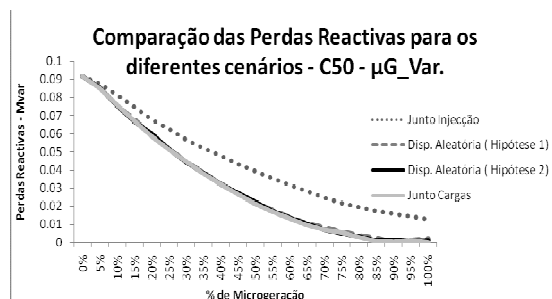


Figura A.8 - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C50

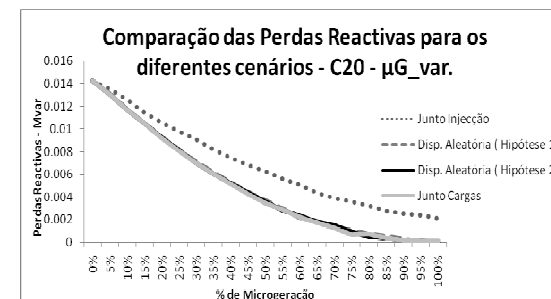


Figura A.9 - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C20

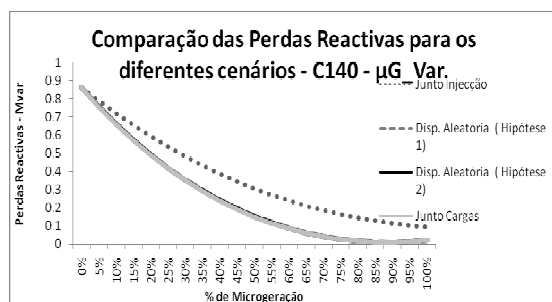


Figura A.10 - Comparação das Perdas Reactivas - cenário C140

• Perfis de Tensão:

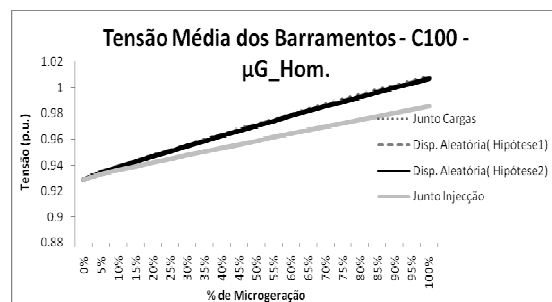


Figura A.11 - Comparação dos Perfis de Tensão- cenário C100

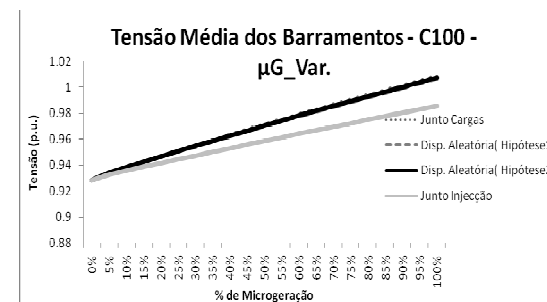


Figura A.12 - Comparação dos Perfis de Tensão- cenário C100

- Percentagem de Carga nos Ramos

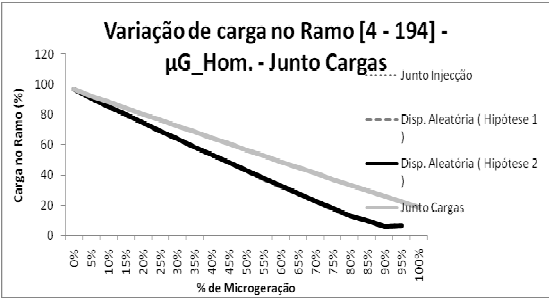


Figura A.13 - Comparação das Cargas nos Ramo (4-194)-cenário C100

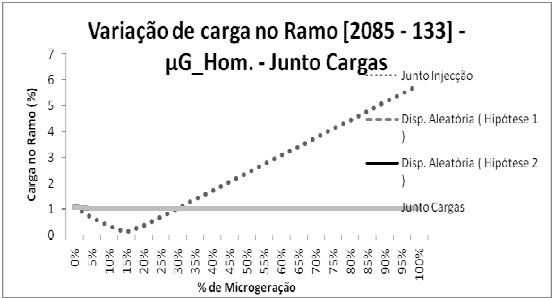


Figura A.14 - Comparação das Cargas nos Ramo (2085-133)-cenário C100

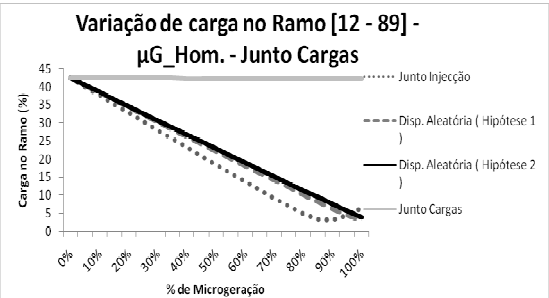


Figura A.15 - Comparação das Cargas nos Ramo (12-89)-cenário C100